

İZMİR KÂTİP ÇELEBİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

POLİMER MATRİSLİ KOMPOZİT DENGE ÇUBUKLARININ
KAFA KISMININ OPTİMİZASYONU VE YORULMA
PERFORMANSLARININ İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Uğur ÖZDER

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

Tez Danışmanı : Prof.Dr.Kutlay SEVER

İZMİR KATİP ÇELEBİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

POLİMER MATRİSLİ KOMPOZİT DENGE ÇUBUKLARININ
KAFA KISMININ OPTİMİZASYONU VE YORULMA
PERFORMANSLARININ İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Uğur ÖZDER
(170228009)

Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Kutlay Sever

ŞUBAT 2021

İKÇÜ, Fen Bilimleri Enstitüsünün 170228009 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Uğur ÖZDER, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “POLİMER MATRİSLİ KOMPOZİT DENGE ÇUBUKLARININ KAFA KISMININ OPTİMİZASYONU VE YORULMA PERFORMANSLARININ İNCELENMESİ” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı :

Prof. Dr. Kutlay SEVER

İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi

Jüri Üyeleri :

Dr.Öğr.Üyesi Ebubekir ATAN

İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi

Doç.Dr.Mehmet SARIKANAT

Ege Üniversitesi

Savunma Tarihi : 15 Şubat 2021

ÖNSÖZ

Yüksek lisans tezimin hazırlanmasında her türlü desteği sağlayan tez danışmanım Prof. Dr. Kutlay Sever'e teşekkürlerimi sunarım.

Tezi hazırlamam esnasında her türlü bilgiye ulaşabilmemi sağlayan ZF Lemförder Aks Modülleri San. Tic. A.Ş. firmasına ve çok değerli iş arkadaşlarıma çok teşekkür ederim.

Ayrıca, tüm eğitim hayatım boyunca her zaman yanımda olan ve hiçbir zaman desteğini esirgemeyen aileme sonsuz teşekkürler ederim.

Şubat 2021

Uğur ÖZDER

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖNSÖZ.....	2
İÇİNDEKİLER.....	3
TABLO LİSTESİ.....	4
ŞEKİL LİSTESİ.....	5
KISALTMALAR	7
ÖZET.....	8
ABSTRACT	9
1.GİRİŞ	10
1.1 Amaç	10
1.2 Araştırmanın Önemi.....	11
1.3 Literatür Araştırması	11
2.POLİMER MATRİSLİ KOMPOZİT MALZEMELER.....	17
2.1 Fiberler ve Matrisler.....	18
2.1.1 Cam Fiberler	19
2.1.2 Aramid Fiberler	20
2.1.3 Karbon Fiberler	20
2.1.4 Termoset Matrisler	21
2.1.5 Termoplastik Matrisler.....	22
2.2 Polimer Kompozit Malzemelerde Yorulma Dayanımı	24
2.3 Otomobil Z Rotlarında Polimer Kompozit Malzeme Kullanımı	25
3. GENEL ANLAMDA TASARIM.....	27
3.1. Araç Tasarımı.....	27
3.2 Binek Araçlarda Şasi.....	28
3.3 Z Rot (Denge çubuklarının) Tasarımı ve Montajı	30
3.4 Farklı tipte olan Z rotların (denge çubuklarının) karşılaştırılması.....	31
3.5 Z Rot Tasarımında Gözönünde Bulundurulacak Özellikler.....	35
3.6 Otomotiv Sanayinde Tasarım Süreçleri	35
3.6.1 Ön Projeler	36
3.6.2 Bilgisayarda Yapılan Tasarımlar	36
3.6.3 Prototip ve Yapılan Testler	39
3.6.4 Seri Üretim Sürecinin Planlaması	39
4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	41
4.1 Kullanılan Malzemeler.....	41
4.2 Plastik Enjeksiyon Yöntemi ile Z rotun Üretimi	42
4.3 Yorulma Testi Öncesinde Z Rotların Koşullandırılması	43
4.4 Plastik Enjeksiyon ile Üretilmiş Z Rotun Yorulma Testi'nin Yapılışı	44
4.5 Üç boyutlu Tasarımı Yapılan Numuneler	46
4.6 Bu çalışmada kullanılan Sonlu Elemanlar yöntemi	50
5. TARTIŞMA VE SONUÇLAR	54
5.1 Termal Koşullandırma Şartlarından sonra oluşturulan Wöhler Eğrisi.....	54
5.2 Termal Koşullandırma Şartları uygulanmayan numunelerin Wöhler Eğrisi	58
5.3 Tsai – Hill hasar kriterine göre yorumlama	70
6.SONUÇLAR	74
KAYNAKLAR	76

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Tablo 1 Belli başlı polimer malzemelerin mekanik karakteristikleri [27]	23
Tablo 2 Ultramid A3WG6 (PA6.6 GF30) Malzemesinin Teknik Özellikleri:.....	42
Tablo 3 Termal koşullanmadan sonra, Yorulma testinde numunelere uygulanan kuvvet, frekans ve yorulma testi sonucundaki çevrim sayıları.	54
Tablo 4 Termal koşullanma yapılmadan, Yorulma testinde numunelere uygulanan kuvvet, frekans ve yorulma testi sonucundaki çevrim sayıları.	58

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1 Kompozit malzemede kullanılan fiber ve reçine	18
Şekil 2 Sürekli fiberler ve kısa fiberli olan kompozitler.....	18
Şekil 3 Termoplastikler ve Termosetlerin molekül yapıları [15]	22
Şekil 4 Otomobil Salıncak Kolu ve Alt Takım Elemanları	26
Şekil 5 Bir binek araç şasisi [32].	29
Şekil 6 Bir binek araç şasisinde bulunan ana bileşenler [8].	29
Şekil 7 Araç ön aksı ve işaretli olan parçalar ise Z rotlardır [8].....	30
Şekil 8 Bağımsız ön süspansiyon ve direksiyon bağlantıları. [8]	31
Şekil 9 Otomobillerde kullanılan Z Rot çeşitleri. [33]	32
Şekil 10 Farklı tipte çelik ve alüminyum Z Rot bağlantıları. [33].....	32
Şekil 11 Farklı tipte plastik ve hibrid Z Rot bağlantıları. [33]	33
Şekil 12 Binek araç Z rot tipleri.....	34
Şekil 13 Çelik Z rotlarda bulunan alt parçalar. [33]	34
Şekil 14 A) U Rodlu ve B)Yuvarlak kesit Rodlu plastik Z rotlar [33].....	35
Şekil 15 Örnek Bir Binek Araç Z Rotu İçin Tasarım Modeli.....	36
Şekil 16 Z rot için sonlu elemanlar tasarımı	38
Şekil 17 Uçakta yapılmış olan bir optimizasyon örneği	38
Şekil 18 Bilgisayarda yapılan Z Rot modelleme örnekleri.....	39
Şekil 19 Poliamid 6.6 + % 30GF malzemeden imal edilmiş binek araç Z rotu	41
Şekil 20 Plastik enjeksiyon makinası.....	43
Şekil 21 Klima üniteli iklim odası	44
Şekil 22 Yorulma Testi Düzeneği.....	45
Şekil 23 Yorulma Testi Düzeneğinin ayrıntılı parçaları	45
Şekil 24 1.numunede üç boyutlu CAD programında yapılan güncellemele.....	47
Şekil 25 Akışkan plastik malzeme giriş noktası	47
Şekil 26 2. numunede üç boyutlu CAD programında yapılan güncellemeler	48
Şekil 27 3. numunede üç boyutlu CAD programında yapılan güncellemeler	49
Şekil 28 4. numunede üç boyutlu CAD programında yapılan güncellemeler	49
Şekil 29 Z Rot'un 3D montaj CAD Modeli.....	50
Şekil 30 Ağ yapısı oluşturulmuş denge çubuğu FE modeli.....	51
Şekil 31 Denge çubuğunun kinematik noktalarının gösterimi.....	52
Şekil 32 Plastik enjeksiyon simülasyonu sırasında kullanılan proses parametreleri .	53
Şekil 33 Yorulma testinden sonra mafsal mili boyun bölgesinden kırılan 1.Numune	55
Şekil 34 Yorulma testinden sonra mafsal mili boyun bölgesinden kırılan 2.Numune	55

Şekil 35 Yorulma testinden sonra polimer kafa kısmıyla metal rod'un birleşim bölgesinden kırılan 3.Numune'nin detaylı görünüşü.....	56
Şekil 36 Yorulma testinden sonra polimer kafa kısmıyla metal rod'un birleşim bölgesinden kırılan 4.Numune'nin görüntüsü.....	56
Şekil 37 Termal Koşullandırma Şartlarından sonra oluşturulan Wöhler Eğrisi	57
Şekil 38 Yorulma testinden sonra mafsal mili boyun bölgesinden kırılan 1.Numune	58
Şekil 39 Yorulma testinden sonra mafsal mili boyun bölgesinden kırılan 2.Numune	59
Şekil 40 Yorulma testinden sonra polimer kafa kısmıyla metal rod'un birleşim bölgesinden kırılan 3.Numune'nin görüntüsü.....	60
Şekil 41 Yorulma testinden sonra polimer kafa kısmıyla metal rod'un birleşim bölgesinden kırılan 4.Numune'nin görüntüsü.....	60
Şekil 42 Termal Koşullandırma Şartları uygulanmayan numunelerin Wöhler Eğrisi	61
Şekil 43 1.numunedeki gerilme dağılımı	65
Şekil 44 2.numunedeki gerilme dağılımı	65
Şekil 45 3.numunedeki gerilme dağılımı	66
Şekil 46 4.numunedeki gerilme dağılımı	66
Şekil 47 1.numunenin iç yapısındaki gerilme dağılımı	67
Şekil 48 2.numunenin iç yapısındaki gerilme dağılımı	68
Şekil 49 3.numunenin iç yapısındaki gerilme dağılımı	68
Şekil 50 4.numunenin iç yapısındaki gerilme dağılımı	69
Şekil 51 Düşünülen alternatif rod tasarımı	69
Şekil 52 1.numunenin Tsai-Hill kriterine göre analiz görüntüsü.....	70
Şekil 53 2.numunenin Tsai-Hill kriterine göre analiz görüntüsü.....	71
Şekil 54 3.numunenin Tsai-Hill kriterine göre analiz görüntüsü.....	71
Şekil 55 4.numunenin Tsai-Hill kriterine göre analiz görüntüsü.....	71
Şekil 56 1.numunede Rodun ucundaki gerilme değerleri.....	72
Şekil 57 2.numunede Rodun ucundaki gerilme değerleri.....	72
Şekil 58 3.numunede Rodun ucundaki gerilme değerleri.....	73
Şekil 59 4.numunede Rodun ucundaki gerilme değerleri.....	73

KISALTMALAR

ZF	:ZF Friedrichshafen AG - ZF Lemförder Aks Modülleri San. Tic. A.S.
CF	:Karbon fiber
CAD	:Bilgisayar Destekli Tasarım
FEA	:Sonlu Elemanlar Analizi
GF	:Cam Fiber
GRP	:Cam Elyaf Takviyeli Plastikler
ISO	:Uluslararası Standartlar Organizasyonu
IPA	: Plastik Enjeksiyonlu Montaj
PA	: Poliamid
PA6	:Poliamid 6
PA6.6	:Poliamid 6.6
POM	:Polioksimetilen
RT	: Oda Sıcaklığı

POLİMER MATRİSLİ KOMPOZİT DENGE ÇUBUKLARININ KAFA KISMININ OPTİMİZASYONU VE YORULMA PERFORMANSLARININ İNCELENMESİ

ÖZET

Plastikler günlük hayatımızda önemli bir yer tutmaktadırlar. Zaman içerisinde plastik malzeme alanında sağlanan gelişmelerle birlikte, plastik malzemeler cam elyafı gibi malzemeler ile takviye edilerek daha üstün özelliklere sahip olmaları sağlanmıştır. Bu gelişmelerle birlikte plastik kompozit malzemeler gün geçtikçe daha da popüler hale gelecektir.

Ergime sıcaklıklarının diğer malzeme gruplarına göre düşük olması plastik malzemelere işlenebilirlik kolaylığı sağlamaktadır. Birçok üretim yöntemiyle plastikler ve plastik matrisli kompozit malzemeler üretilebilir.

Bu çalışmada ağırlıkça %30 oranında cam elyaf takviyeli polyamid 6.6 kompozit granüller kullanılarak otomotiv sektöründe kullanılan Z rot (denge çubuğu) ürünü plastik enjeksiyon yöntemi ile üretilmiştir. Bu denge çubuğunun yorulma testi yapılarak, sonuçları tartışılmıştır. Ayrıca bu ürün referans alınarak, farklı kafa tasarımına sahip denge çubuklarının da sonlu elemanlar analizleri yapılarak, olası bir yorulma testine tabi tutulduklarında nasıl bir dayanım gösterecekleri konusunda bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Sonlu elemanlar analizinin sonuçlarına göre numuneler arasından en iyi yorulma dayanımına sahip Z rot belirlenmiştir.

OPTIMIZATION OF HEAD SECTION AND ANALYSIS OF FATIGUE PERFORMANCE OF POLYMER MATRIX COMPOSITE STABILIZER LINKS

ABSTRACT

Plastics have an important place in our daily life. With the advances in the field of plastic materials over time, plastic materials have been reinforced with materials such as glass fiber to have superior properties. With these developments, plastic composite materials will become more and more popular day by day.

The low melting temperatures compared to other material groups provide ease of processability to plastic materials. Plastics and plastic-based materials can be produced with many production methods.

In this study, using 30% glass fiber reinforced polyamide 6.6 composite granules, the Z-rod (stabilizer link) product used in the automotive industry was produced by plastic injection method. The fatigue test of this balance rod was performed and the results were discussed. In addition, by taking this product as a reference, a study has been carried out on how the balance bars with different head designs will show strength when subjected to a possible fatigue test by making finite element analysis. According to the results of finite element analysis, Z-rod with the best fatigue strength was determined among the samples.

1.GİRİŞ

Otomobillerde şasi, rahat ve güvenli bir sürüşün yanı sıra otomobil ile yol arasındaki güç ve kuvvet aktarımından sorumlu bileşenlerden oluşan bir sistemdir. Bu sistemdeki temel bileşenlerden bazıları; metal veya kompozit malzemeden imal edilebilen araç gövdesi, jantlar, akslar, direksiyon sistemi, fren sistemi, süspansiyon sistemi ve tekerlekler şeklinde sıralanabilir.

Atalet momentine neden olan merkezkaç kuvveti, özellikle aracın virajları dönme esnasında meydana gelir ve aracı virajın dışına doğru itmek ister. Araçlardaki, bu olumsuz etkiyi azaltmak ve önlemek amacıyla süspansiyon sistemine Z rotlar eklenmiştir. Süspansiyon sistemine Z rotların entegrasyonu, araç gövdesinin ters yönde hareket etmesi önlenir; bu şekilde yuvarlanma açısı azaltılır ve genel sürüş konforu artırılır.

Bu tez çalışmasında da süspansiyon sisteminin en önemli parçası olan Z rot araştırılmış, polimer kompozit malzemeden üretilen Z rotun dayanımı detaylıca ele alınmıştır.

1.1 Amaç

Otomotiv endüstrisi araç üretimi ve tasarımında günümüz teknolojisini sürekli olarak takip etmektedir. Otomotiv endüstrisinde araç ağırlığını azaltmak için kompozit malzemeleri kullanma amacı sürekli olarak artmaktadır. Kompozit malzemelerin en önemli ve çok tercih edilen grubu polimer matrisli kompozitlerdir. Polimer matrisli kompozitler teknolojinin gelişmesiyle beraber otomotiv firmalarının malzeme tasarımı sürecinde ve Araştırma-Geliştirme çalışmalarında kullanılmaktadır. Otomotiv endüstrisinde kullanılan polimer matrisli kompozit Z rotlarının yorulma dayanımı üzerinde yoğunlaşmış, bu konuda detaylıca araştırma yapılmıştır. Bu tez çalışmasında plastik matrisli kompozit malzemeden üretilen Z rot (denge çubuğu) un yorulma dayanımını nasıl artırırız sorusuna en uygun cevabı bulabilmek için yorulma testi sonuçları ile farklı kafa tasarımına sahip Z rotların sonlu elemanlar

sonuçları değerlendirilmiştir. Bu tez çalışmasından elde edinilen bilgiler ile otomotiv teknolojisindeki gelişmeler yakından takip edilebilecektir.

1.2 Araştırmanın Önemi

Otomotiv endüstrisindeki kompozit malzemelerin önemi sürekli artmaktadır. İmalat sektörü için yüksek mukavemetli, uzun süre dayanabilecek, daha hafif malzemeler ile daha hafif araçlar üretmek çok büyük önem kazanmıştır. Otomobillerde bulunması gereken en önemli nitelikler, aracın sürücüyü güven vermesi başta olmak üzere otomobilin yakıt tasarrufu, sürüş konforu, bakım masraflarının az olması şeklinde sıralanabilir. Bu nitelikler göz önünde bulundurularak yapılan araştırmalar ve ZF şirketinin günümüze kadar olan tecrübelerinden faydalanarak malzeme seçimi düşünülmüş ve araçlarda kullanılan Z rot için en uygun malzeme olarak polimer matrisli kompozitler tercih edilmiştir. Bu alandaki gelişmeler ve teknolojilerin sürekli takip edilmesiyle, daha uzun ömürlü, daha hafif ve çevreye daha az zarar veren parçalar üretilebilir. Termoplastik matrisli kompozitlerden üretilen Z rotların günümüzde otomotiv endüstrisinde kullanımı pek yaygın değildir. Yapılan bu tez çalışmasında farklı tasarımlı Z rotların yorulmaya etkisi incelenmiştir. Bu konudaki bilimsel boşluk doldurulmaktadır.

1.3 Literatür Araştırması

Aynı veya farklı gruptaki malzemelerin en iyi olan özelliklerini tek ve yeni bir malzemede toplamak amacıyla, birbirinden fiziksel ve kimyasal bileşimleriyle ayrılmış, esas olarak birbiri içinde çözünmeyen, iki veya daha fazla miktardaki en az bileşenin karışımı yada birleşimiyle oluşan malzemeler kompozit malzemeler olarak adlandırılırlar [1].

Günümüzde, plastikler hava araçlarından, otomotivlere ve neredeyse tüm konstrüksiyonlara kadar çok geniş bir kullanım alanına sahiptir. En iyi mekanik ve tribolojik özelliklerin bir arada bulunması gereken durumlarda polimer matrisli kompozitlerin kullanımı çok yaygındır. Çünkü genellikle katkısız polimerler bu özellikleri tek başlarına sağlayamazlar. Bu da fiber takviyeli polimerlerin gelişmesine yol açmıştır [2].

Birçok farklı tür ve karakteristiği olan mühendislik plastikleri vardır. Poliamid mühendislik plastikleri arasında en yaygın kullanılanlarındandır. Bu çalışmada ticari

adı Naylon olarak bilinen poliamid grubundan PA 6.6 polimeri kullanılmıştır. Naylon dayanıklı olup, elastik modülü yüksek ve abrasif aşınmaya karşı diğer polimerlere göre daha dirençli bir malzemedir. Kendini yağlayabilme özelliği sayesinde, özellikle yüksek sıcaklıklarda (125-200°C) aşınma gibi belli başlı özelliklerini koruyabilirler. Önemli bir dezavantajı ise suyu emmesi olarak literatürde geçmektedir. Dişli, yatak ve birçok otomotiv parçası yapımında yüksek mukavemet, düşük sürtünme ve düşük çalışma sıcaklıklarının istenildiği yerlerde metallerin yerine tercih edilebilir [3].

Polimerlerin fiziksel ve mekanik dayanımlarını arttırmak için cam fiberler, aramid fiberler ve karbon fiberler ile takviyelendirilebilirler. Cam fiberler, cam fiber takviyeli polimerik kompozit (CTP) üretiminde yaygın olarak kullanılır. Cam fiberlerin, ısıl dirençleri düşük olmasına rağmen kimyasal maddelere karşı oldukça dirençlidir. Elektriksel olarak yalıtıcıdır ve nem emme özellikleri düşüktür. Cam fiber takviyeli polimer matrisli kompozitler (CTP) yüksek dayanımları ve düşük yoğunluklarından dolayı günümüzde otomotiv, gıda, teknoloji, inşaat, vb. birçok farklı alanda kullanılmaktadır [4].

Mekanik dayanımları yüksek polimer malzemelerin geliştirilmesi, otomotiv sektöründe bu malzemelerin kullanımlarını arttırmıştır. Bugünlerde otomotiv sektöründe kullanılan polimer malzemeler sıkça tercih edilmektedirler. Tercih edilme nedenlerinden bu malzemelerin; tokluğu, yüksek mukavemet özellikleri, korozyon direnci, kolay tasarım edilebilirlikleri ve düşük bütçelerle yüksek performans sağlamaları sayılabilir [5].

Bir binek otomobilde 1163 kg demir, çelik gibi malzemelerin yanında 150 kg plastik veya plastik ürünü olan malzemeler kullanılmaktadır. Bu ağırlık neredeyse otomobilin toplam ağırlığının %15 gibi bir rakama denk gelmektedir. Otomotiv sanayiinde birinci sırada yaklaşık % 68 oranında metal ve alaşımlar (çelik, dökme demir..) ve diğer yaygın olarak kullanılan malzemeler de polimer esaslı kompozitlerdir. Araç ağırlığını azaltması açısından, dökme demire, çeliğe ve alüminyuma göre daha hafif olan polimer esaslı kompozitlerin kullanımı tercih edilmektedir [5].

Araçlardan çıkan istenmeyen gazların azaltılması ve araçlardaki yakıt tasarrufunu arttırabilme gibi hedeflere, aracın ağırlığını azaltarak ulaşılabilir. Yapılan çalışmalarda, otomobildeki toplam ağırlığın %10 kadar azaltılması, otomobilin yakıt

tüketiminde %7 bir iyileştirme anlamına gelmektedir. Bir aracın yaklaşık ağırlığının %8'ini oluşturan polimerler ve polimer kompozit malzemelerin, gelecekte daha çok kullanılması düşünülmektedir [6].

Sürekli tekrar eden kuvvetler altında kalan malzemelerin mukavemet değerleri düşer. Malzemelerde yorulma terimi, makine ve otomotiv parçalarında akma ve kopma mukavemetlerinin çok altındaki yükleme değerlerinde bile malzemede gerçekleşebilen hasarlardır. Bugüne kadar malzeme yorulması sonucu birçok kaza tespit edilmiş, bu konuda araştırmalar yapılmıştır. Malzemelerdeki bu yorulma olayına birçok faktör etki etmektedir [7].

Süspansiyon sistemleri bileşenlerinden bir tanesi olan Z rotlar, iki ucunda bulunan farklı tiplerdeki mafsallar ile denge barı ve salıncak kolları (bazı kaynaklarda tekerlek taşıyıcısı) arasına bağlıdırlar. Z rotlar (denge çubukları); araçların kendi ağırlıklarından dolayı oluşan atalet momentinin dengesini kurarak, aracın özellikle virajlarda devrilmesini engeller. Otomobillerde bir tekerleğe ağırlık gelirken diğer tekerleğe ağırlık gelmediği durumlarda dengesizlik veya yalpalama oluşur. İşte araçlarda Z rotlar sürücüye, denge barı ile birlikte çalışarak bu dengesizliği ortadan kaldırarak, güvenli ve konforlu bir sürüş sağlar [8].

Z rotların (denge çubuklarının) iki ucunda bulunan mafsalların küreleri, Z rot ürünlerinin servis ömrünü tayin eder. Mafsalların bu dairesel küreleri ve plastik yatak ürünü arasında, boşluk olması neticesinde sürücü aracı kullanırken istenmeyen sesler duyar. Bu boşluk Z rotların uzun süren kullanımı sonucunda veya niteliklere uymayan, kalitesiz üretim sonucunda da kısa sürede oluşabilir. Sürücü rahatsız edici bu sesi duyduğunda aracın Z rot parçasını değiştirmelidir. Aksi takdirde Z rotlar birlikte çalıştığı diğer parçalara da zarar verebilir ve kazalara sebep olabilir [9].

Z rotlarda kullanılan mafsal küreleri ve plastik yatak malzemesi arasındaki boşlukların; Z rot çalışma ömrünü etkilediği görülmüştür. Bu amaçla, otomobillerde Z rotlar üzerinden bilgi toplama çalışmaları yapılarak Z rota etki eden güçler ve kuvvetler tespit edilmiştir. Bu güç ve kuvvetler yorulma testi cihazında farklı mafsal küresi ve plastik yatak boşluklarına sahip Z rotlara uygulanmıştır. Sonuçta farklı boşluklara sahip Z rotların yorulma dayanımları karşılaştırılmıştır [10].

Devrilme önleyici veya dengeleyici çubuk, aracın keskin dönüşler sırasında aşırı şekilde yuvarlanmasını önlemek için kullanılan bir süspansiyon bileşenidir.

Tekerleklerin birbirine göre dikey olarak yer değiştirmesine direnç gösteren yanal olarak monte edilmiş burulma yaylarından oluşur. Stabilizer çubuğu, aracın ağırlığının aracın bir tarafından diğerine aktardığı bir viraj yayı gibi çalışarak aracın yuvarlanmasına neden olur ve böylece süspansiyonu ağır tarafa sıkıştırır ve daha hafif tarafta uzar. Bükölme hareketine direnir ve faz dışı süspansiyon hareketini sınırlandırır ve dolayısıyla araç dönüşü sırasında sürüşü ve kullanımı iyileştirir. İstikrar ve rahatlık sağlarlar. Bir süspansiyon sistemindeki viraj demiri, bir çerçeve yapısı ile burçlarla desteklenir [11].

Yılmaz, İ. N. ve Taşdelen, M. A.'nın yaptığı bir çalışmada %50 cam elyaf takviyeli poliftalamid ile poliamid 6.6 karışımının uyumu farklı besleme oranlarıyla hazırlanarak incelenmiştir. Cam elyaf oranı sabit tutularak farklı poliftalamidler ve poliamid 6.6 oranlarıyla hazırlanan karışımlar ekstruzyon yöntemiyle harmanlanmıştır. Test örnekleri enjeksiyonla kalıplama yöntemleriyle hazırlanıp, polimerlerin besleme oranlarının mekanik ve ısıl özellikleri üzerine etkisi mekanik ve termal analiz yöntemleriyle incelenmiştir [12].

Cam Fiber Takviyeli Polimer (GFRP), ulaşım ve otomobil bileşenlerinde hafif ağırlık malzemesi olarak yaygın olarak kullanılan termoplastik Naylondan Poliamid PA66-GF30'dur. Ayrıca PA66-GF30 malzemesi motor kapağı, ön motor modülü, radyatör kılavuzu, dişli ve farklı otomobil braketleri gibi çeşitli bileşenlerde kullanılmaktadır. Son zamanlarda, plastik malzemeler içten yanmalı motorlarda metalik malzemelerin yerini alarak üstün mekanik mukavemet, kimyasal direnç, aşınma ve sürtünme özellikleri, yorulma direnci ve ısıl özelliklerin yanı sıra hafiflik gerektiren alanlarda sıkça kullanılmaktadır [13].

Polimer kompozit malzeme kullanılarak üretilen ürünlerden otomobil tamponları ve çarpışma kutusu gibi güvenlik sistemleri parçaları mevcuttur. Polimer kompozitlerden imal edilen bu güvenlik parçaları enerjiyi depolama kapasitelerine sahip olduğundan, bu gibi çarpışma olabilecek alanlarında kullanılırlar. Yapılan araştırmalarda kompozit malzeme ağırlıklı olarak tasarlanan bir otomobilin, çelik malzeme ağırlıklı olarak tasarlanan bir otomobile göre daha sağlam olduğunu görebiliriz. Kaporta kısmı cam fiber takviyeli polimer kompozit malzemedan imal edilen bir aracın 35 mil/saat hızında çarpışma testini başarıyla geçtiği görölmüştür. Polimer kompozitlerin bu örnekten de anlaşılacağı üzere; titreşimleri sönümlemesi,

yüksek mukavemetli oluşu, sürüş emniyeti sağlayabilmesi gibi nitelikleri yerine getirerek otomotiv sektöründe sıklıkla kullanıldığı görülmektedir [14].

Verimli ve çevreyi daha az kirletici (daha az karbondioksit salınımı olan bir araç) bir araç geliştirmek için önemli bir etkili faktör toplam ağırlığı azaltmaktır. Yüksek yoğunluklu malzemeler ağırlığı arttırdığından, hafif konstrüksiyonların uygulanmasına ve geliştirilmesine büyük önem verilmektedir. Modern, sürekli gelişen malzemeler bu problemde esastır ve araç kütlelerinin azaltılabilmesi konusunda belirleyici bir role sahiptir. Composites Market Report 2018'e göre [37] Avrupa cam fiber takviyeli plastik (GRP) pazarına göre 2017'ye göre iki kat artmıştır ve yüzde 1,14 milyon ton olarak gerçekleşmiştir. Ayrıca, termoplastik sistemler pazarı da yaklaşık yüzde beş oranında artmaktadır. Kısa elyaf takviyeli termoplastik polimerlerin kullanıldığı alan genellikle otomotiv sektörüdür. Bunlar, araç yapımında metal ikamesi için kullanılan Polyamid 6 (PA6) ve bir Poliamid 6.6 (PA66) matrisi olarak yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu malzemeler sürekli malzeme geliştirme, matris özelliklerinin kullanım koşullarına hedeflenmiş bir şekilde uyarlanmasına izin verir.

İşleme yöntemi için genellikle bir enjeksiyon kalıplama işlemi kullanılır. Tasarımcı yüksek bir işlevsel entegrasyona sahiptir, çünkü tasarımcı şekillendirme konusunda büyük özgürlüğe sahiptir. Ayrıca, bu işlem çeşitli bağlantı ve yapı elemanlarına izin verir. Böylece, malzeme akışından ötürü daha sonra ön yük kuvvetinin kaybedilmesini önlemek için bir metal takviye ile bir yük uygulama noktası temin edilebilir. [15]'de Scheibnitz, Kaenko ve Spies tarafından belirtildiği gibi, elyaf takviyesi, bir aracın en zorlu alanlarıdır.

Birkaç metal ile değişim ve bileşenlerin yeni olasılıklarla basitleştirilmesi yoluyla, ağırlık azaltma desteği muazzam. Motor bölmesinde ve şaside veya ön alanda yüzde 25'e kadar ağırlık azalması sağlanabilir [15]. Sıcaklığa dayanıklı Polyamid PA66 gibi yüksek sıcaklığa dayanıklı elastomerler, 220° C'ye kadar kısa süreli ortam sıcaklığına sahip alanlarda da kullanılabilir [15].

Ayrıca, turboşarjda veya egzoz gazı alanında da kullanılabilirler. Geri dönüştürülebilirlik ile ilgili olarak, termoplastik kompozitlerin büyük bir avantajı, bunları geri dönüştürülebilir olmasıdır. Yeniden granüle edilerek ve eritilerek imalat işlemine geri döndürülebilir. A. Bernasconi, (2010) kısa cam fiber takviyeli PA66'nın geri dönüştürülebilirliği sırasında ekstrüderde tekrarlanan erimenin ve kalıba

enjeksiyonun lif uzunluğunu kısalttığını tespit etmiştir. Sonuç olarak malzeme dayanımının yaklaşık yüzde on bir azaldığı incelenmiştir [16].

Liflerin temel işlevi, matrisi çok az bileşim değişikliği ile veya hiç değişiklik olmaksızın güçlendirmektir. Malzeme özellikleri büyük ölçüde farklı lif yönlerine bağlıdır. Enjeksiyon kalıplama sırasında farklı fiber yönelmeleri olabilmektedir. Yük yönü ana fiber yönünden saparsa malzeme dayanımı azalmaktadır [17].

Hüseyin İpek ve arkadaşları (2013) yaptıkları çalışmada takviye fazı olarak karbon elyaf, matris malzemesi olarak PA 6.6 kullanarak, rastgele dağılmış süreksiz elyaf takviyeli kompozit malzemeleri basınçlı kalıplama yöntemiyle üretmişlerdir. Numunelerin değişen elyaf/matris ağırlık oranına göre mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Çekme dayanımının elyaf oranının artması ile arttığını belirlemişlerdir. Takviyesiz poliamide göre dayanım %25 elyaf takviyesi ile yaklaşık 7 kat artmıştır [18].

Hakan Kutlak ve arkadaşı (2014), süspansiyon sisteminin bir elemanı olan sac salıncak kolu parçasının dayanımının yorulma analizine etkisini incelemişlerdir. Sac salıncak parçasının kırılma alanı, yorulma testi cihazında kırılan salıncak kolu parçası ile karşılaştırılmış ve yine aynı alandan sac salıncak kolunun yorulma sonucu hasar aldığı tespit edilmiştir. Kuvvet uygulandığı anda sac salıncak kolunda oluşan 148,27 MPa'lık en yüksek gerilme değeri (Equivalent (von-Mises) Stress) sac salıncak kolunun 269 MPa 'lık akma sınırının altında olduğunu incelemişlerdir. Fakat, sürekli olarak kuvvet uygulanan sac salıncak kolunda meydana gelen iç gerilmeler, parçanın dış yüzeyinde çentik etkisi oluşturmakta ve çentik etkisi sonucunda malzemenin ağır hasar aldığı görülmektedir [19].

Literatür detaylı olarak incelendiğinde polimer matrisli fiber takviyeli kompozitler için yapılan çalışmalarda; genellikle otomotiv sektöründe Poliamid 6, Poliamid 6.6 ve POM gibi malzemelerin kullanıldığı görülmektedir. Otomotiv sektöründe kullanılan bu polimerik kompozit malzemelerle genellikle ağırlık azaltma konusu araştırılmış, bunun yanında bu malzemelerin mekanik özelliklerinden bahseden az sayıda araştırmaya ulaşılmıştır. Bu çalışmada da araçlarda kullanılan Z rotların yorulma dayanımı üzerine bir araştırma gerçekleştirilmiştir. Tez çalışmasında otomotiv sektöründe kullanılan Z rotların yorulma davranışlarını etkileyebilecek tasarımsal değişiklikler incelenmiştir.

2. POLİMER MATRİSLİ KOMPOZİT MALZEMELER

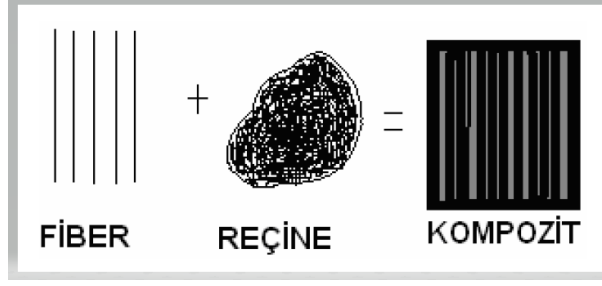
Kompozit malzeme, iki yada daha fazla miktardaki malzemenin en uygun ve en iyi olan özelliklerini tek bir malzemede toplamak ve istenilen yeni bir özellik oluşturmak amacıyla malzemelerin fiziksel olarak birleştirilmesi sonucu oluşturulan malzemeye denir. Polimer matrisli kompozit malzemeler;

- Polimer matris,
- Takviye/dolgu malzemeleri ve
- Katkı malzemelerinden oluşur.

Polimer matrisli kompozit malzemelerde, matris yapıyı polimer reçineler ve takviye malzemesini lifler oluşturur. Katkılar matrise ultraviyeye ışınlar karşı polimerin direncini artırmak, ısı dayanımını geliştirmek gibi nedenler ile ilave edilirler.

Gün içinde kullandığımız eşyalardan, araç ve gereçlerden, çevre koşullarına (nem, güneş ışınları, sıcak, soğuk...) dayanıklılık, sağlamlık, iyi yüzey kalitesi, hafiflik, esneklik ve sertlik gibi özellikleri barındırmaları beklenir. Bu saydığımız özelliklerin hepsini bir malzemede toplamak veya bulmak olanaksızdır. Polimer kompozit malzemeler, hava araç ve gereçlerinde, hafiflik ve sağlamlık gerektiren spor malzemelerinin imalatında, tüm otomotiv endüstrisinde, ev araç ve gereçlerinde kullanılmasıyla bu saydığımız özellikleri de üzerlerinde barındırarak yaygın şekilde kullanılmaktadırlar. Endüstride, ısıya ve darbelere karşı daha dayanıklı fiber malzemeler ve matris malzemelerin kullanımıyla ilgili araştırmalar her geçen gün artmaktadır [40].

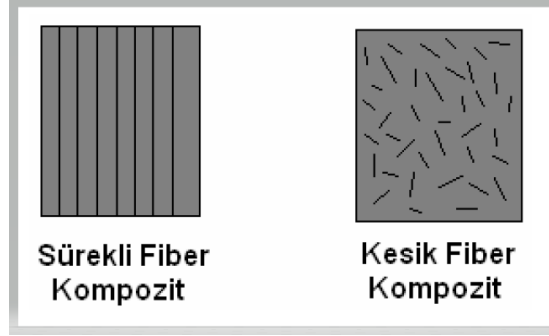
Kompozit malzemeler, Şekil 1'de görüldüğü gibi oluşmaktadır. Polimer matrisli kompozitlerde, takviye (fiber) malzemesi olarak cam, karbon, ve aramid fiberler, bunun yanında matris (reçine) malzemesi olarak da polimerler kullanılmaktadır [20].



Şekil 1 Kompozit malzemede kullanılan fiber ve reçine

Fiber kompozit malzemenin dayanıklılığını arttırırken, matris kompozit malzemeye şekil vererek kompozit malzemeyi çevresel etkilere karşı dirençli kılar.

Şekil 2’de uzun sürekli fiberler ve kısa fiberler gösterilmiştir. Enjeksiyonlu kalıplama ile üretimde kısa fiberler tercih edilir.



Şekil 2 Sürekli fiberler ve kısa fiberli olan kompozitler

2.1 Fiberler ve Matrisler

Bir kompozit yapı içindeki fiber malzemesinin görevleri:

- Matrisin dayanım ve rijitliğini arttırır.
- Fiber malzeme kompozit malzemenin mukavemet ve yük taşıma özelliğini geliştirir.
- Kompozitlerde kullanılan fiberlerin elektriksel iletkenliği yada yalıtkanlığı kompozit malzemelerin elektriksel özelliklerini tayin eder, belirler [41].

Bir kompozit yapı içindeki matris malzemesinin görevleri:

- Kompozitin içindeki matris malzemeler, fiberlerin bir arada tutulmasını sağlayarak, fiber malzemelerin tek başlarına hareket etmesini engeller.
- Matris malzemeler, plastik deformasyona geçişte oluşabilecek çatlak oluşmalarını, ilerlemelerini ve kompozit malzemenin kopmasını

geciktirmektedirler. Matris malzemesi olarak kullanılan malzemenin bir amacı da fiber malzemeleri kuvvetler altında bir arada tutabilmek ve kuvveti fiberler arasında homojen olarak dağıtmaktır. Böylece fiber malzemelerde plastik deformasyon gerçekleştiğinde ortaya çıkabilecek çatlak ilerlemesi durumu engellenmiş olabilir.

- Matris malzemeler yapısı sayesinde, olumsuz çevre şartlarından kaynaklanan fiziksel ve kimyasal zararlara karşı kompozit malzemeyi destekler.
- Darbelere karşı polimer kompozitlerin korunması sağlanır.

Kompozit malzemelerde genel olarak cam fiberler, karbon fiberler, aramid fiberler kullanılmaktadır. Bu fiberler aşağıdaki bölümde kısaca tanıtılmıştır [21].

2.1.1 Cam Fiberler

Cam fiber, fiber takviyeli kompozitler arasında en bilinen ve en çok kullanılanıdır. Cam fiberlerin en çok kullanılan çeşitleri, E ve S cam fiberleridir. E tipi cam fiberlerin elektrik teriminden geldiği düşünülmektedir. Genellikle bu tip fiber malzemeler elektriksel alanlarda kullanılmaktadır. S tipi cam fiberlerin ise Silika içeriği taşıdığı düşünülmektedir. S tipi cam fiber malzemeler, E tipi cam fiber malzemelere göre yüksek sıcaklıklarda daha yüksek mukavemet ve yorulma özellikleri gösterirler. Bu yüzden uzay cisim ve ekipmanları yapımında kullanıldıkları görülmektedir. E cam fiberleri düşük maliyete, yüksek kimyasal dirence ve iyi yalıtım özelliklerine sahiptir. Bu yüzden takviye elemanı olarak polimer kompozit malzemelerde en çok ve en ucuz olarak tercih edilen malzemedir [1]. Diğer yandan, E cam fiberleri yüksek özgül ağırlığa, polimerler ile zayıf yapışmaya, sürtünme hassasiyetine ve düşük yorulma dayanımına sahiptirler [22].

Cam fiberlerin bazı özellikleri aşağıdaki gibidir [23].

- Birim ağırlık başına mukavemeti, çelik malzemelerin mukavemetinden daha yüksektir. Ayrıca yüksek çekme dayanımlarına sahiptirler,
- Yanmazlar, fakat yüksek sıcaklıklarda kullanılırken yumuşama eğilimindedirler. Bunun yanında ısı iletkenlik dirençleri düşüktür.
- Aşınma dirençleri yüksektir.
- Fiyatları uygundur.

- Kimyasal maddelere karşı dirençleri iyidir.
- Nem absorbe etme özellikleri yoktur.
- Elektriksel iletkenlikleri yoktur.

2.1.2 Aramid Fiberler

Aramid (Kevlar) polimer yapılı bir fiber malzeme olup, kompozit malzemeye yüksek sertlik ve mukavemet kazandırır. Bunun yanında hafif olması nedeniyle kompozitlerde kullanımı yaygındır. Aramid fiberli kompozitler, cam fiberli kompozitlere göre %35 daha hafiftir. Bir çeşit naylon olan Aramid (Kevlar), poliamid grubunda yer alır. Genelde Twaron (Akzo Nobel) ve Dupont firmaları tarafından üretilirler ve isimleri de bu şekilde kullanılmaktadır. En çok kullanılan Aramid (Kevlar) fiberleri Kevlar 29 ve Kevlar 49 olarak bilinmektedir. Genellikle sarı renkte görülürler ve bu doğal renkleridir.

Aramid fiberlerin avantajları arasında, iyi derecede aşınma, yorulma ve darbe dayanımı, yüksek oranda kimyasal dayanım, E cam fiberlerinin seviyesinde basınç dayanımının yanında, yoğunluklarının düşük oluşunu sayabiliriz.

Aramid fiberlerden bazıları ultraviyole ışınlarına karşı hassas olabilirler. Bu tür Aramid fiberleri karanlık ortamlarda saklamak mantıklı olabilir. Matris malzemelerle uygun oranda birleşmemeleri neticesinde malzeme yüzeylerinde çatlaklar görülebilir. Bunun gibi çatlaklar malzemenin su emilimini arttırdığı için istenmezler. Bu özellikler de aramid fiberler için dezavantajlar olarak sayılabilir.

Yüksek darbe dayanımlı Kevlar 29; balistik koruma uygulamalarında (askeri kasklar, kurşun geçirmez yelek imalatı), koruyucu giysilerde (eldiven, motorsiklet koruma giysileri ve avcılık aksesuarları), hava araçlarında (gövde parçaları) ve yüksek ısı ve basınçlarda kullanılan contalarda sıklıkla kullanılmaktadır.

Aramid fiberlerin havacılık endüstrisinde karbon fiberlerle birlikte, basma mukavemetlerinin düşük olması sebebiyle kullanıldıkları görülmektedir. Bu gibi yapılara hibrid kompozit malzemeler denilmektedir. Aramid fiberler elektriksel olarak yalıtandırılar [24].

2.1.3 Karbon Fiberler

Karbon fiberler, genellikle havacılık ve otomotiv endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Cam fiberler ucuz olmalarından dolayı en çok kullanılan takviye

elemanı olmalarına rağmen, büyük hacimli ve gelişmiş kompozit malzemelerde karbon fiberler daha çok tercih edilebilirler. Cam fiber malzemelere göre mekanik özellikleri daha iyi ve hafiftirler, fakat bunların yanında üretim esnasındaki maliyetleri pahalıdır. Havacılık sektöründeki ekipmanlarda, spor aletlerinde ve tıbbi malzemelerin ve cihazların imalatında metallerin yerlerine kullanılmaktadırlar. Karbon fiberlere ısı işlem uygulandığı anda karbonlaşırlar. Bu yeni oluşan fiber malzemelere grafit fiberi denilmektedir. Karbon fiberlerin avantajlarını sıralamak istediğimizde, yüksek mukavemet, sertlik, elastisite modülü, düşük yoğunluk, yüksek sıcaklık, yorulma ve korozyon dayanımı ve neredeyse bütün reçine malzemeleriyle kompozit oluşturabilme özelliklerini sayabiliriz.

Karbon fiberlerin fiyatının yüksek oluşu bir dezavantajdır. Karbon fiber piyasada sürekli elyaf ve kırılmış elyaf olarak bulunmaktadır. Sürekli fiberler, örgü, dokuma ve bobine sarılmış şekilde bulunmaktadır. Pregreg yapılışında ve bantlarda kullanımları mevcuttur. Kırılmış elyaflar ise, makine ve otomotiv teknolojilerinde enjeksiyon kalıplama aletlerinde ve kimyasal ortamlarda kullanılabilirler [24].

Diğer yandan matris yapıyı oluşturan polimerleri termoset ve termoplastik olarak iki gruba ayırabiliriz.

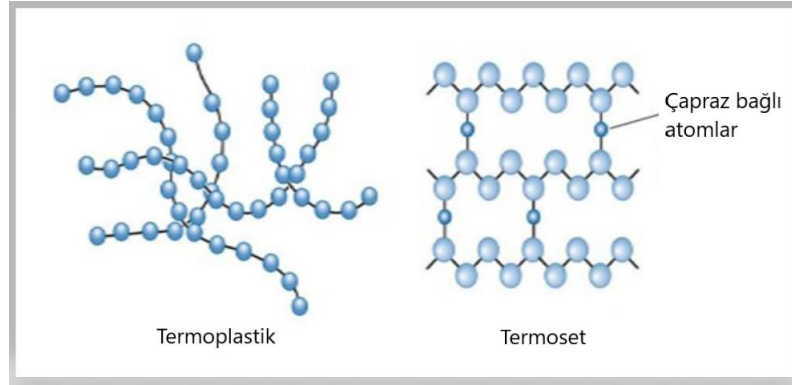
2.1.4 Termoset Matrisler

Sıvı halde bulunan termoset plastikler, monomer moleküllerin kimyasal reaksiyonlar sonucunda yanal bağlarla birbirine bağlanmasıyla elde edilirler. Üretimleri sırasında gerçekleşen polimerizasyon reaksiyonu geri dönüşümü olmadığı için ısıtılarak yumuşatılamazlar, dolayısıyla şekil verilemezler. Kovalent bağlarla üç boyutlu olarak bağlandıkları için oldukça rijit bir yapıya sahiptirler. Bu nedenle ısıtıldıklarında çözülmezler ve erimezler. Termosetlerin bir raf ömrü vardır ve öngörülen kullanım süresi içinde kullanılmalıdır. Termoset reçineler, kimyasal etkiler altında çözülmezler [25].

Termoset matrisler, polimer matrisli kompozitlerde, matris malzemesi olarak daha çok tercih edilirler. Termosetlerin geri dönüşümü olmadığından tekrar kullanılamazlar. Bunun nedeni polimer zincirleri birbirlerine çapraz bağlıdır. Termosetler mukavemet ve sıcaklığa karşı dayanımları yönünden termoplastiklerden daha üstündür. En yoğun kullanılan termosetler epoksi, polyester, vinylester, fenolik reçinelerdir [26].

2.1.5. Termoplastik Matrisler

Hem otomotiv sektöründe hem de uçak sanayisinde yaygın olarak kullanılan termoplastikler ısıtıldıklarında yumuşarlar ve oda sıcaklığına soğutulduklarında sertleşirler. Yüksek sıcaklıklarda zincirler arası bağlar zayıflar. Pek çok termoplastik yapıdaki polimerler lineer polimer şeklindedir. Bir miktar da dallı yapıdadır [26]. Termoplastikler, metallerle karşılaştırıldıklarında yaklaşık beş kat daha yüksek ısı iletkenlikleri vardır. Termoplastik malzemelerin termal iletkenlikleri metallerin termal iletkenliklerine göre üç kat daha düşüktür bunun yanında, öz ısıları metallerin iki katı, seramiklerin dört katı kadardır. Sıcaklığın artması ile elastisite modülü, çekme dayanımında düşme görülürken malzemenin sünekliği artar [27]. Termoplastikler genelde ekstrüzyon veya enjeksiyon kalıplama teknolojileri ile üretilirler. Termoplastik polimer malzemelerin mekanik özellikleri sıcaklık değişimine karşı çok hassastır.



Şekil 3 Termoplastikler ve Termosetlerin molekül yapıları [15]

Termoplastiklerin raf ömürleri uzundur ve oda sıcaklığında depolanabilirler. Geri dönüşüm kabiliyetleri bulunmaktadır. Termoplastik mamüller, işlem sonrası ısıtılarak basınç altında yeniden şekillendirilirler. Termosetler gibi sertleştirici, hızlandırıcı gibi kimyasallara ihtiyaç duymazlar. Yüksek süneklik oranına (%1-500) sahiptirler. Elektriksel olarak yalıtandırılar ve darbe dayanımları yeterince yüksek sayılabilir [26].

Termoplastikleri genel amaçlı termoplastikler, mühendislik termoplastikleri ve yüksek performanslı mühendislik termoplastikleri olarak üç gruba ayırabiliriz.

Mühendislik termoplastikleri, genellikle ısı direnci, kimyasal direnç, darbe, alev geciktirme veya mekanik dayanım gibi alanlarda yüksek performans gerektiren

uygulamalarda kullanılan bir plastik malzeme alt kümesidir. Mühendislik termoplastikleri, genel amaçlı termoplastiklere göre daha yüksek performans gerektiren parçaların üretiminde kullanılmaktadır. Otomotiv, beyaz eşya gibi endüstrilerde Akrlonitril Bütadiyen Stiren (ABS), Polibütilen Tereftalat (PBT), Poliamid (PA), Polikarbonat (PC), Polioksümetilen (POM), Poliftalamid (PPA) gibi mühendislik termoplastiklerin yaygın olarak kullanıldığı görülmektedir [25].

Tablo 1 Belli başlı polimer malzemelerin mekanik karakteristikleri [27]

Malzeme	Özgül Ağırlık	Elastisite Modülü [GPa (ksi)]	Çekme Dayanımı [MPa(ksi)]	Akma Dayanımı [MPa(ksi)]	Kopma uzaması(%)
Polietilen (Düşük Yoğunluk)	0.917–0.932	0.17–0.28 (25–41)	8.3–31.4 (1.2–4.55)	9.0–14.5 (1.3–2.1)	100–650
Polietilen (Yüksek Yoğunluk)	0.952–0.965	1.06–1.09 (155–158)	22.1–31.0 (3.2–4.5)	26.2–33.1 (3.8–4.8)	10–1200
Polivinil klorür	1.30–1.58	2.4–4.1 (350–600)	40.7–51.7 (5.9–7.5)	40.7–44.8 (5.9–6.5)	40–80
PTFE	2.14–2.20	0.40–0.55 (58–80)	20.7–34.5 (3.0–5.0)	13.8–15.2 (2.0–2.2)	200–400
Propilen	0.90–0.91	1.14–1.55 (165–225)	31–41.4 (4.5–6.0)	31.0–37.2 (4.5–5.4)	100–600
Polistiren	1.04–1.05	2.28–3.28 (330–475)	35.9–51.7 (5.2–7.5)	25.0–69.0 (3.63–10.0)	1.2–2.5
PMMA	1.17–1.20	2.24–3.24 (325–470)	48.3–72.4 (7.0–10.5)	53.8–73.1 (7.8–10.6)	2.0–5.5
Fenol-formaldehit	1.24–1.32	2.76–4.83 (400–700)	34.5–62.1 (5.0–9.0)	–	1.5–2.0
Poliamid (Naylon 6.6)	1.13–1.15	1.58–3.80 (230–550)	75.9–94.5 (11.0–13.7)	44.8–82.8 (6.5–12)	15–300
Polyester(PET)	1.29–1.40	2.8–4.1 (400–600)	48.3–72.4 (7.0–10.5)	59.3 (8.6)	30–300
Polikarbonat	1.20	2.38 (345)	62.8–72.4 (9.1–10.5)	62.1 (9.0)	110–150

Ayrıca termoplastikleri yapılarına göre amorf ve yarı kristal olarak iki gruba ayırabiliriz.

Amorf yapılı polimerler yalnızca yapısal uygulamalarda (yatak ve aşınma için uygun değildir) kullanılmaktadır. Amorf yapılı polimerlerin geniş bir sıcaklık aralığında yumuşamaya ihtiyaçları vardır. Ancak ısıl şekillendirilmeleri kolaydır. Yarı saydam veya şeffaf olma eğilimindedirler. Bu tür polimerler yapıştırıcılar ve çözücüler kullanılarak iyi derecede yapışma özelliklerine sahiptirler. Stres çatlağına eğilimlidirler ve zayıf yorulma direncine sahiptirler. Ayrıca, kimyasal dirençleri zayıftır.

Yarı kristal yapılı polimerler aşınan yüzeylerde olduğu kadar yapısal uygulamalar içinde uygundur. Bu tür polimerler kesin ve belirli bir erime noktalarına sahiptirler. Isıl olarak şekillendirilmeleri kolay değildir ve yapıştırıcı, çözücüler

kullanarak yapıştırılmaları zordur. Opaklanma eğilimindedirler. Ancak, gerilim çatlamasına, yorulmaya ve kimyasallara dirençlidirler. Düşük sürtünme katsayısına sahiptirler [27].

2.2 Polimer Kompozit Malzemelerde Yorulma Dayanımı

Günümüzde hala güncel bir sorun olan, mühendislik parçalarının yorulmadan dolayı hasar alması ve sonuçta kopmasıdır. Daha çok malzemelerin yüzeyinin düzgün olmadığı ve malzemeye tekrar eden kuvvetler yüklendiği esnada bu yorulma sorunuyla karşılaşırız. Mühendislik malzemelerinde yorulma; bazı noktalardaki tekrar eden yükleme şartlarına maruz kalan malzemelerde görülen, kuvvetin yeterli bir tekrar etme sayısını geçtiği anda çatlak oluşması ve büyümesine veya tamamen kırılmaya sebep olma durumudur. Bu tanımdan da anlaşılacağı üzere dört nitelik yorulma için çok önemlidir. Bunlar, durumun sürekli oluşu, belirli bir bölgede oluşu, çatlak oluşması, büyümesi ve sonunda kırılmanın gerçekleşmesidir. Eğilme ve burulma momentleri üretilen her makine ve otomotiv parçasına, değişik şekillerde ve boyutlarda etkiyebilir. Yorulma hasarı da işte bu tür zorlamaların etkileri altındaki malzelerde, akma sınırı altındaki bir gerilmeyle bile oluşabilir [30]. Yorulma zorlaması sırasında tekrarlanan kalıcı şekil değiştirmelerin yeteri kadar birikimi sonucu mikroskobik boyuttan da küçük çatlaklar oluşabilmektedir. Zorlama sırasında dışarıdan verilen enerjinin büyüklüğüne bağlı olarak mikro çatlak şeklinde birleşir ve sonuçta yorulma hasarı oluşur. Yorulma kırılmalarında şekil değişimi oluşmaz çünkü hasar çok minik ve belirli bir bölgede başlayıp çatlak olarak ilerler [31].

Yorulma kırılması sadece dıştan gelen kuvvetlerle değilde, sıcaklık dalgalanmaları arasındaki farklılıklar sonucu oluşan iç kuvvetlerin etkilenmesi ile de oluşabilir [31].

Polimerlerde yorulma genel olarak iki şekilde olmaktadır. Birincisi; aynı metallerde olduğu gibi çatlak oluşumu ve ilerlemesi şeklinde oluşur ve sonuçta malzeme hasar alır. İkincisi ise; düşük ısı iletkenliklerinden dolayı polimerik malzemeler çalışma şartları altında biriken ısıyı uzaklaştıramadıklarından dolayı polimer malzeme aşırı ısınarak yumuşar ve kalıcı hasar oluşur. Bu ikinci hasara “ısı yorulma hasarı” denir. Bu hasar polimer malzemde yumuşama sonucu oluştuğundan sünek karakterdedir ve bu nedenle malzemelerde kırılma görülmez.

Isıl yorulma hasarında, malzemelerde oluşan gerilme veya uygulanan yük ne kadar yüksek olursa, yapıdaki sıcaklık artışı ve buna bağlı olarak hasar oluşması da o kadar

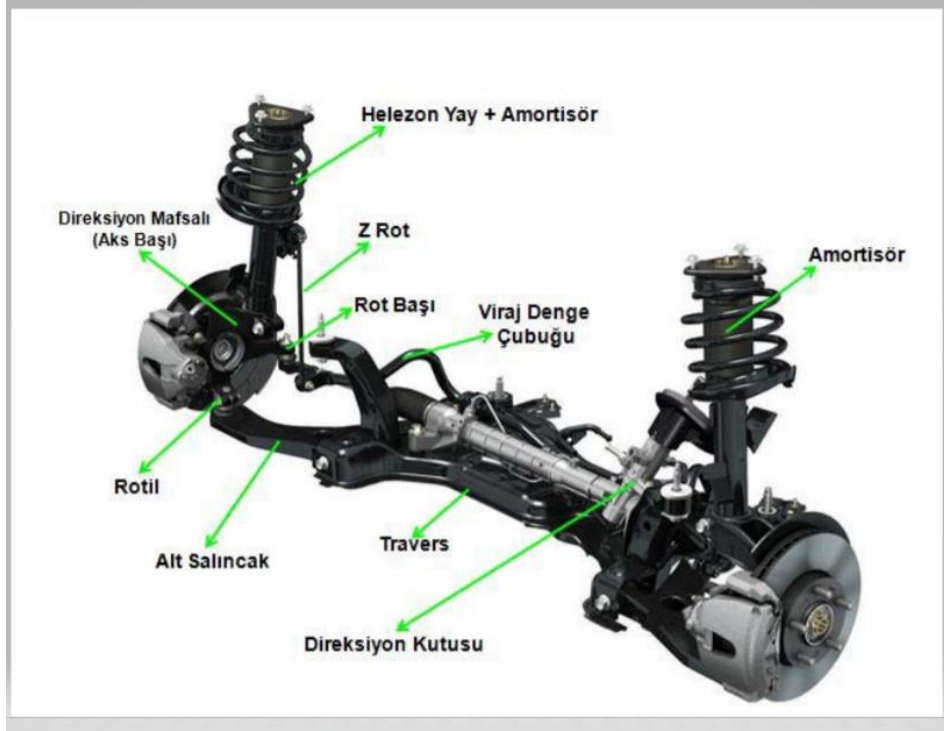
hızlı gerçekleşir. Malzemeye düşük yükler geldiğinde ve gerilme seviyesi aşılmadığında genelde çatlak oluşması ve ilerlemesi şeklindeki hasarlara rastlanır.

Polimer malzemelerin yorulmasında hasar alma ve kırılma öncesi meydana gelen en çok bilinen iki defarmasyon türü mevcuttur. Bunlardan biri kayma akması ve diğeri de çatlama oluşmasıdır. Kayma akması, malzeme üzerine gelen çekme veya basma yükleri altında kayma bantlarının oluşması ile başlar. Yükün devamlı halde gelmesi ile, birçok kayma bantı kesişir ve böylece büyük gerilme yığılmaları meydana gelir. Bu tür defarmasyon türü genellikle amorf yapılı polimerlerde görülür.

Çatlama şeklinde defarmasyon ise camsı yani saydam yapıdaki polimer malzemelerde görülür. Bu deformasyon polimer malzemeye uygulanan çekme uzaması kritik bir değerin üstüne çıktığında görülür. Çekme gerilmeleri polimer malzeme yapısında mikroboşluklara sebep olur. Çekme gerilmesi sürekli olduğunda, mikroboşluklar da artarak çatlaklar ilerler ve kırılma gerçekleşir.

2.3 Otomobil Z Rotlarında Polimer Kompozit Malzeme Kullanımı

Otomobiller, çok sayıda parçanın ve farklı malzemelerin bir arada kullanılmasıyla tasarlanmakta ve üretilmektedirler. Otomobildeki her parça farklı bir göreve sahiptir ve kendine göre bir niteliği vardır. Bunun için, bir otomobilin sıkıntısız görevini yerine getirmesi, yine onu oluşturan tüm parçaların birbirleriyle çok uyumlu halde çalışmasına bağlıdır. Binek araçların ön veya arka akslarında biri sağ tarafta, diğeri ise sol tarafta olan iki adet Z rot adlı parça bulunur. Z rotların önemi genelde araçlar virajlara girdiğinde anlaşılır. Mesela sağ tarafa dönen bir viraja belli bir hızla girildiğinde araç merkezkaç kuvvetinin etkisiyle sol tarafa doğru yönelmek ister. İşte bu yönelme istenmeyen, tehlike arz eden bir durum olduğundan, Z rot aracın bu olumsuz durumunu engeller. Otomobil süspansiyonunda önemli bir yere sahip olan Z rotlar amortisörlere ve salıncak kollarına doğrudan bağlıdırlar. Bundan dolayı amortisörlerin ve salıncak kollarının Z rotlara ilettiği kuvvetler sürüş konforunu önemli derecede etkiler. Z rotların otomotiv sanayisinin ihtiyaçlarını tam olarak karşılayabilmesi için mukavemet ve rijitlik özelliklerinin çok iyi derecede olması beklenir [8].



Şekil 4 Otomobil Salıncak Kolu ve Alt Takım Elemanları

Z rotlar istenmeyen çevresel etkilere dayanmalı ve diğer otomotiv parçalarından kendisine gelen her türlü kuvvetlere karşı mukavemetli şekilde düşünülmeli ve imal edilmelidirler. Z rotlarda bulunması gereken nitelikleri düşündüğümüzde, malzeme seçimi olarak en uygun olanın polimer kompozitler olduğuna karar verilmiştir. Fiber takviyeli polimer matrisli kompozit malzemeler rijit oluşları, dayanımları ve titreşim sönümlenme özellikleri nedeniyle Z rot parçasının imalatında kullanılmıştır [29]. Geçmiş yıllarda otomobillerde Z rotların polimer matrisli kompozitlerden üretildiğine dair Araştırma-Geliştirme çalışmaları mevcuttur. Bu çalışmalardan en önemlisini ilk defa Pinfold başlatmıştır. Pinford bu çalışmada %30 oranında sıradan yerleştirilmiş kalsiyum karbonat ve cam fiber içerikli polyester reçinelerini tercih etmiştir. CAD programlarından sağlanan tasarımlar ile deneylerden alınan sonuçlar karşılaştırılmıştır. Ayrıca sonlu elemanlar metodunun da yer aldığı CAD programında Z rot parçasının çelik rod ve çelik yatak malzemesinin birleşimindeki kaynak noktalarında iç gerilmeler olduğu görülmüştür. Sonlu eleman analizi yapılan bu çelik tasarımın sonucunda otomobillerde kullanılan Z rotlarda polimer kompozitlerin kullanılması düşünülmüştür [30]. Z rotun ağırlığının azaltılması ve Z rotların burkulmaya karşı mukavemetinin arttırabilmesi için yapılan çalışmalarda polimer kompozit malzemelerin kullanıldığına denk gelinmiştir [8].

3. GENEL ANLAMDA TASARIM

Tasarım, bir makinenin üretim aşamasına kadar olan işlemlerinin, bu makine üzerindeki düşüncelerin tümü olarak söylenebilir. Makine veya bir makine parçasının tasarımının oluşmasında ilk olarak hayal etme, kaba taslak çizimler oluşturma ve en son olarak da düşünülen tasarımın elle veya bilgisayar programlarıyla çizimi şeklinde düşünülebilir. Bu çizimler gerçekleştirildikten sonra boyutlandırma, ölçeklendirme aşamasına geçilir ve bu işlemlerin ardından prototip yaratma işlemine geçilir. İşte sayılan tüm bu aşamalar makine veya makine parçasının tasarım süreci olarak isimlendirilir.

Otomotiv endüstrisinde yer alan araç parçalarına baktığımızda, birçok parçanın bir araya gelerek sistemler oluşturduğunu görmekteyiz (fren sistemleri, süspansiyon sistemi..gibi). Örneğin, bu gibi küçük parçaların yerine göre birbirine kaynakla birleştirilmesi veya başka parçaların birbirlerine sıkı geçme şeklinde montajlanması gerekebilir. Bunun için her parçanın tasarım sürecinde bu parçaların montaj aşamaları da göz önünde bulundurulmalıdır.

Otomotiv endüstrisinde bugünlerde tasarımlar üç boyutlu tasarıma da izin veren bilgisayar destekli programlarda yapılmaktadır. Üç boyutlu düşünülen ve tasarımı da kolayca yapılabilen her türlü parçanın, iki boyutlu çizimleri de oluşturularak üretim departmanına verilerek imalat süreci de kontrol edilebilir. Bu işlemler iyi bir ekip çalışmasının bir ürünüdür. Çok iyi düşünülen, beyin fırtınası sonucu ortaya çıkan parçalar, firmaların Araştırma Geliştirme bölümlerinde yaratılmaktadır. Bu yüzden firmaların bu bölümlerine daha da çok önem vermek gereklidir [32].

3.1. Araç Tasarımı

Neredeyse bütün sanayi ürünlerinde olduğu gibi tabiki otomotiv endüstrisinde de tasarım çok önemli bir kavramdır. En küçük bir otomobil parçasında bile dış görünüş özelliği önemli olduğu gibi, bunun yanında iç hacim genişliği, yanındaki parçalarla olan uyumu, malzeme kalitesi, kullanım kolaylığı, emniyetli ve sağlıklı oluşu, vb.

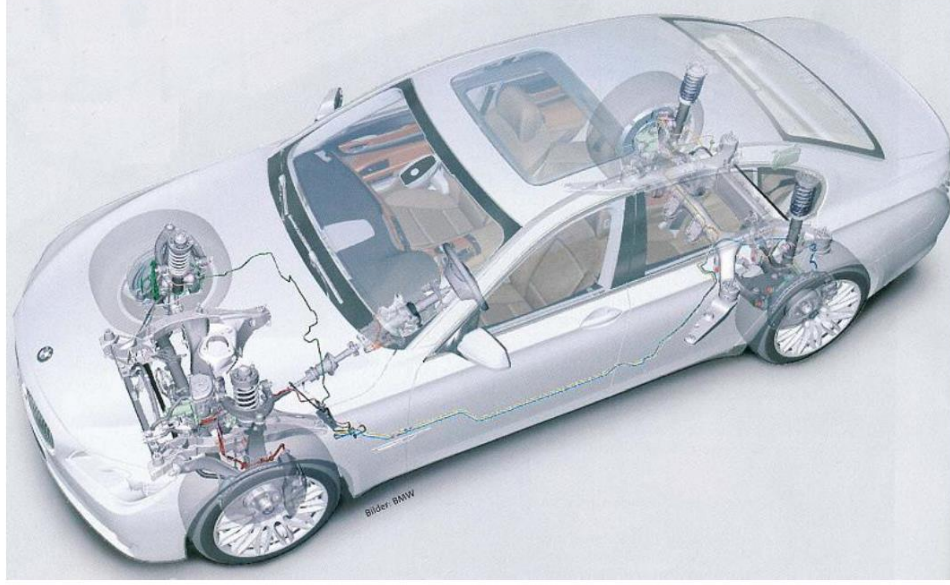
özellikler de aracın çok satılması ve tercih edilebilir olması açısından çok önemlidir. İlk otomobili bir Fransız mühendisin bulmasına rağmen tüm gereklilikleri tam karşılayamadığı için ilk otomobil patenti Alman mühendis Karl BENZ ve Rudolf DİESEL'e verilmiştir.

Sağlam bir gövde tasarımı otomobillerde olması gereken en önemli özelliklerden biridir. Hem kaza anında hem de normal sürüş esnasında bu kavram çok önemlidir. Kaliteli tasarım, ham malzeme seçimi, kontrol edilebilen analiz süreçleri, iyi yürütülen üretim basamakları bu sağlamlık niteliğine daha da önem kazandırır. Bu yüzden otomotiv imalatı yapan firmalar, aracı piyasaya sunmadan önce birçok teste (dayanım, yol ve çarpışma testleri gibi) tabi tutup eğer tüm testlerin sonuçları olumlu ise o şekilde otomobili piyasaya sunarlar [32].

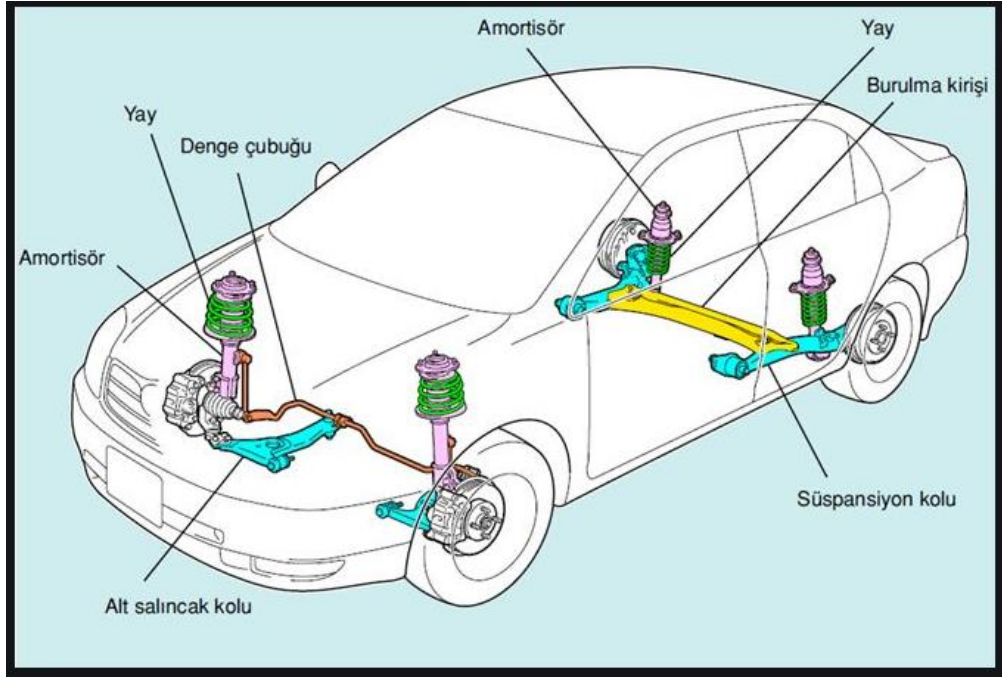
3.2 Binek Araçlarda Şasi

En temel anlamıyla şasi, tüm otomobillerin iskelet sistemidir. Tüm parçalarının monte edildiği en büyük kısımdır. Kaza anında çarpma şiddetini göğüsleyen gerekli kırılma noktalarından kırılarak kaza şiddetini en aza indiren bölümdür.

Güvenli ve konforlu bir sürüşün yanı sıra araç ve yol arasındaki güç ve kuvvet iletiminin en önemli bileşeni araç şasisidir (Şekil 5-6). Araç şasisi, aşağıdaki bileşenlerden oluşan bir sistemdir. Ana bileşenler lastik, jant ve göbeğe sahip tekerleklerdir. Direksiyon, yay ve amortisör kombinasyonu ile süspansiyon sisteminin bileşenleridir. Bu bölümde ayrıca bu tezde ele alınan stabilizatör bağlantısı (denge çubuğu) da bulunmaktadır. Diğer bazı parçalar fren sistemi ve direksiyon sistemidir [32].



Şekil 5 Bir binek araç şasisi [32].

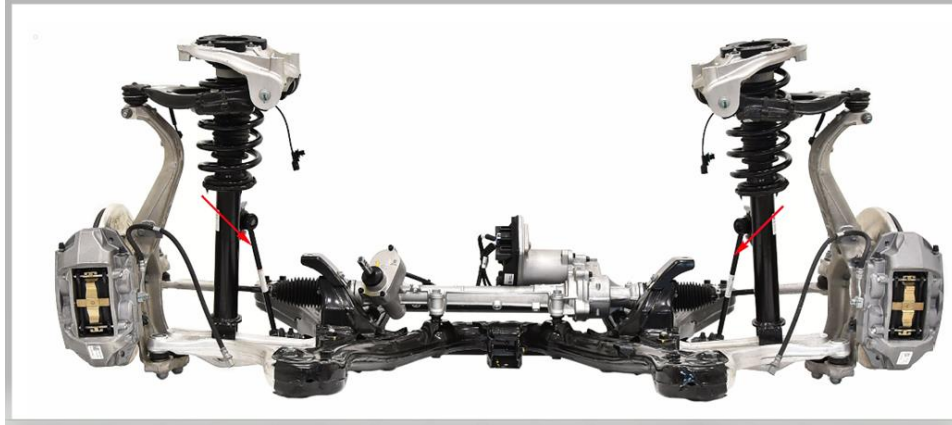


Şekil 6 Bir binek araç şasisinde bulunan ana bileşenler [8].

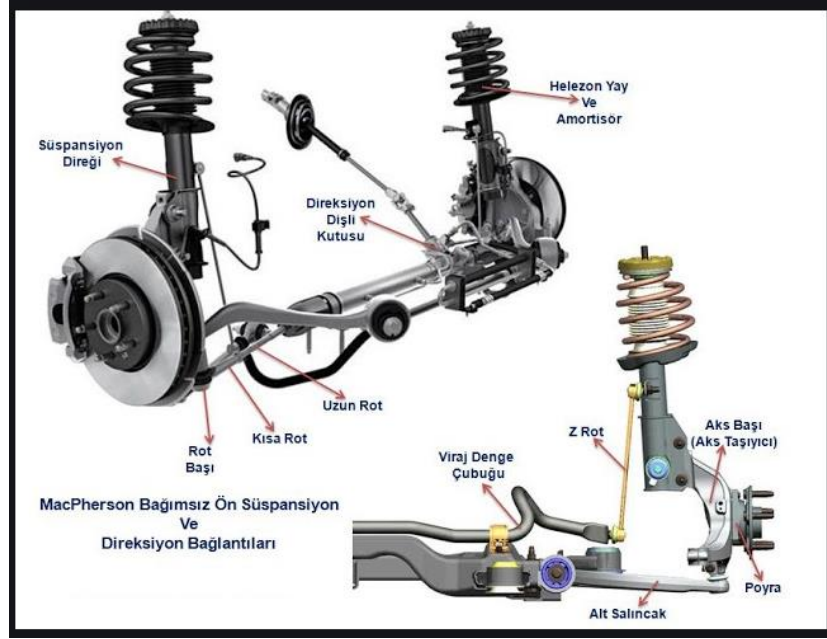
Şasiye sürüş sırasında çeşitli farklı statik ve dinamik yükler etki etmektedir. Güvenlikli, rahat ve daha konforlu bir sürüş davranışı elde etmek için dinamik tekerlek yükleri ve doğal frekanslar dikkate alınmalıdır. Bu yükler aktif süspansiyonun geometrisi ve esnekliğinden etkilenebilir. Müşteri isteklerini karşılayabilmek için, aksona etki eden kuvvetlerin uygun olması ve ulaşılabilir nitelikte olması gerekir [32].

3.3 Z Rot (Denge çubuklarının) Tasarımı ve Montajı

Denge çubukları şasinin bir parçasıdır, (Şekil 7) bir taraftan; iki tekerleğin süspansiyonunu denge barı vasıtasıyla birbirine bağlar, diğer taraftan amortisör bağlantısıyla şasiye bağlıdır. Z rot (denge çubuğu); özellikle araçların virajlardaki dönüşleri esnasında savrulmasını engelleyerek, sürücüye güvenli bir sürüş imkanı tanır. Ayrıca aracın bir tekerleği çukura girdiğinde, bağlantılı olduğu denge barı vasıtasıyla bu hareketi diğer tekerleğe de en az şekilde ileterek, sürücünün bu dengesizliği en az şekilde hissetmesini sağlar. Bir süre kullanım sonunda Z rotu oluşturan mafsal milleri ve plastik yataklar arasında istenmeyen boşluklar oluşabilir. Bu boşluklar sürücünün otomobili kullanımı esnasında rahatsız edici bir ses duymasını sağlar. Bu sesi engellemek için, Z rotun tasarım ve üretim kaliteleri, otomotiv sanayi firmaları tarafından belirlenen ağır testler altında gerçekleştirilmektedir. Bu tanımlanan kriterlere göre tasarım mühendislerinin tasarımlarını sorgulamadaki en önemli enstrümanları, mühendislik hesapları, sonlu elemanlar analizleri ve prototip testleridir. Her Z rot bağlantı çubuğunun araca ve üretici firmanın farklı yük kriterlerine bağlı olarak özgün şekilde tasarlanması zorunludur. Yapılan özgün tasarımlar aynı zamanda araca takılabilir ve ana sanayiden gelen test kriterlerini karşılayabilir olmalıdır.



Şekil 7 Araç ön aksı ve işaretli olan parçalar ise Z rotlardır [8].



Şekil 8 Bağımsız ön süspansiyon ve direksiyon bağlantıları. [8]

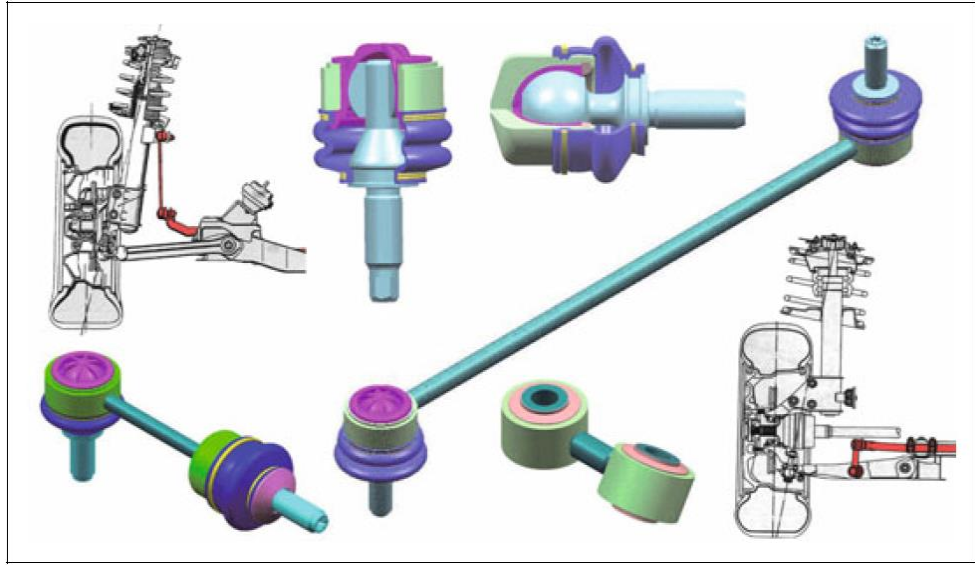
B.Heising ve M.Ersoy [8] 'a göre arabanın atalet momentine neden olan merkezkaç kuvvetidir. Bu kuvvet özellikle aracın virajları dönme esnasında meydana gelir ve aracı virajın dışına doğru iter. Bu olumsuz etkiyi azaltmak ve önlemek amacıyla şasi sistemine Z rotlar (kırmızıyla işaretlenmiştir) eklenmiştir. (Şekil 7-8) Ayrıca, direksiyon sürüş davranışı; sürtünme kuvvetlerinin dağıtımının iyileştirilmesiyle geliştirilir. Bu da daha konforlu bir sürüş imkanı sağlar.

Ek olarak, denge çubuğunun entegrasyonu, araç gövdesinin ters yönde hareket etmesini önlenir; bu yuvarlanma açısını azaltır ve genel sürüş konforunu artırır. Diğer bir avantaj, viraj alma sırasındaki esnemeyi olumlu yönde etkileyen öz-direksiyon davranışının kontrolüdür. Modern araçlarda yarış arabalarında olduğu gibi, denge çubuğu da temel olarak sürüş performansını tam olarak ayarlamak için kullanılır [8].

3.4 Farklı tipte olan Z rotların (denge çubuklarının) karşılaştırılması

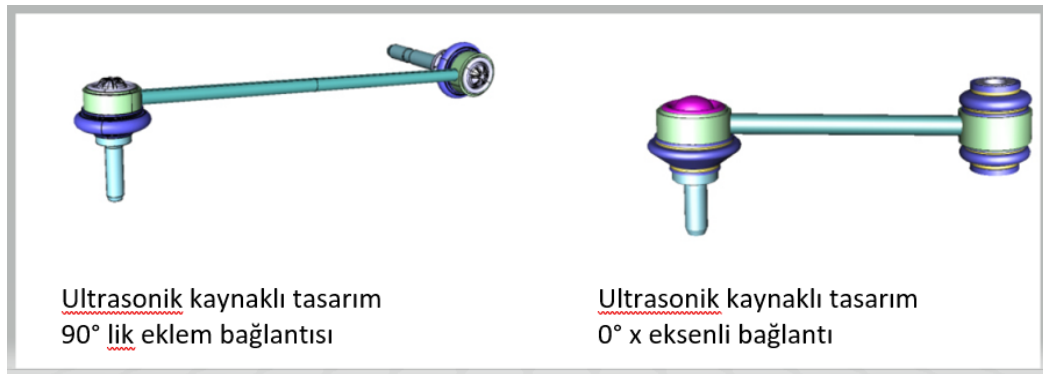
Otomobil sektöründe kullanılan Z rotlar tasarım ve üretim süreçlerinde değişiklik göstermektedir. Bu nedenle en uygun tasarım farklı müşteri gereksinimlerine göre geliştirilir veya daha önceden yapılmış tasarımlar gözden geçirilerek uygun olanı

seçilir. Şekil 9’da binek otomobillerde kullanılabilecek farklı Z rot tasarımları görülmektedir.



Şekil 9 Otomobillerde kullanılan Z Rot çeşitleri. [33]

Şekil 10’da binek otomobillerde kullanılan çelik ve alüminyum malzemelerden üretilen Z rot tasarımları görülmektedir. Bu tasarımlar da kendine özgü olarak iki taraflı eklem bağlantılı yada bir taraflı eklem bağlantılı, diğer tarafı da burçlu tasarım şeklinde tasarlanabilir. Bu farklı tasarım tercihleri Z rotun araçta kullanım alanına göre seçilir.



Şekil 10 Farklı tipte çelik ve alüminyum Z Rot bağlantıları. [33]

Şekil 11’de polimer malzemeden imal edilen ve araçtaki durumuna göre aşağıdaki gibi farklı tasarımlarda üretilebilen Z rotlar görülmektedir.



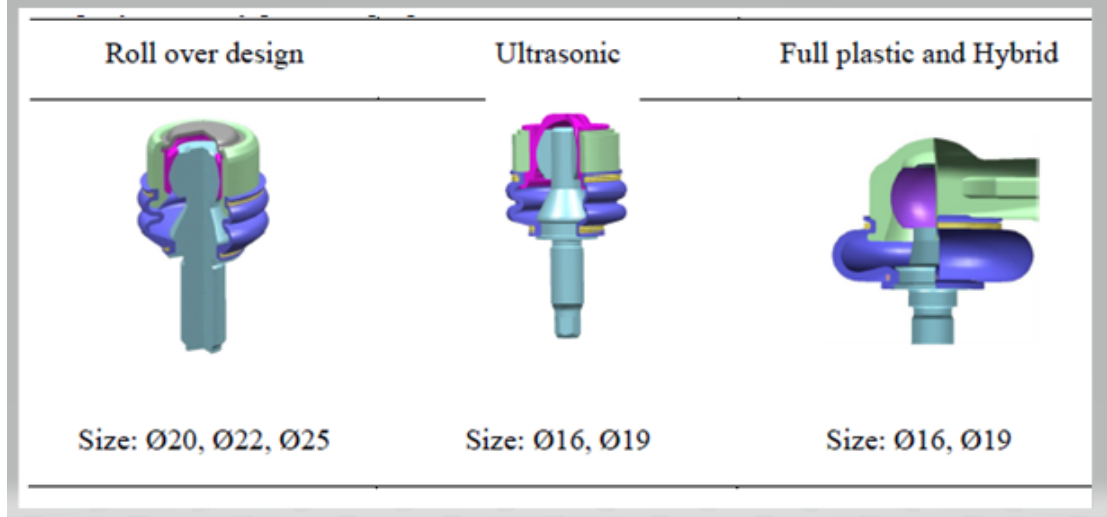
Şekil 11 Farklı tipte plastik ve hibrid Z Rot bağlantıları. [33]

Genelde Z rotlarda müşteri isteklerine bağlı olarak Ø16 mm küre çapında mafsallı kullanılmaktadır. Bu küre çapı 4kN'luk çekme ve basma yüklerine uygundur. Eğer bu yük 6 kN ve üzerinde ise yada müşteriden daha özel istekler geldiyse Ø16 mm'lik küre çapı bize yeterli gelmez bunun için Ø19 mm yada daha üst çapta küreler seçilerek tasarıma başlanır.

Son yıllarda, Z rotların genel tasarım ve bağlantı tipleri önemli bir şekilde geliştirilmiştir. Şekil 10'de farklı tipteki çelik ve alüminyum Z rot bağlantıları ve Şekil 11'de farklı tipte plastik ve hibrid Z rot bağlantılarını görebilirsiniz. Şekil 12'de gösterildiği gibi (Roll over design : sıvımalı üst kapaklı tasarım, ultrasonic : ultraviyole kaynaklı tasarım ve full plastic and hybrid : tek parça plastik ve hibrit tasarım) denge çubuklarının tasarımları müşteri istekleri doğrultusunda ve otomotiv sektöründe daha rekabetçi olabilmek adına geliştirilmektedir. Tek parça plastik ve hibrit stabilizatör denge çubuklarında kullanılan alt parça (komponent) sayısı azaltılarak montaj işlemi de basitleştirilerek üretim verimliliği artırılmaktadır [33].

Otomotiv sanayi tarafından yüksek yükler altında çalışması gereken yerlerde genellikle çelik malzemeden üretilen Z rotlar kullanılır. Bu tasarımların fiyatları alüminyum ve plastik tasarımlara göre daha yüksektir. Fakat yüksek yükler altında dayanımları iyi olduğundan tercih edilirler. Alüminyum malzemeden imal edilen tasarımlar genellikle aracın hafif olması istenen yerlerde tercih edilirler. Örneğin yarış arabalarında genellikle alüminyum malzemeden imal edilen Z rotlar kullanılır.

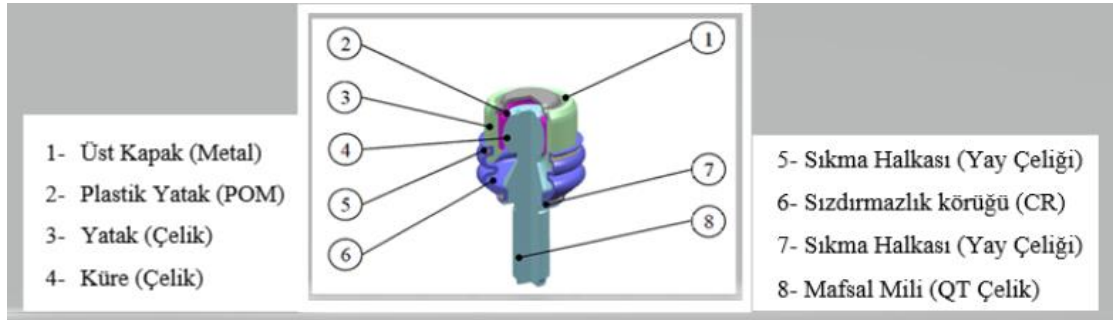
Polimer malzemeden imal edilen Z rotlar ise hem dayanım hem de hafiflik istenilen araçlarda tercih edilir. Z rotların bu özelliklere uygun olarak tasarımları yapılır.



Şekil 12 Binek araç Z rot tipleri

Mafsal mili küresi plastik enjeksiyon kalıplama işlemi sonucu tamamen polimer matrisli kompozit malzeme (genelde cam elyaf takviyeli poliamid 6.6) ile kaplanır. Bu sayede hem mafsal milinin çekme kuvveti ve aşırı yüklenme torku güçlendirilirken hem de aşınma dayanımı arttırılır. Bu işlem geliştirme prosesine ve entegrasyonuna önemli bir katkı sağlar [34].

Çelik malzemeden imal edilen Z rot denge çubuklarının tasarımında bulunan alt parçalar detaylı olarak aşağıda verilmiştir (Şekil 13).



Şekil 13 Çelik Z rotlarda bulunan alt parçalar. [33]

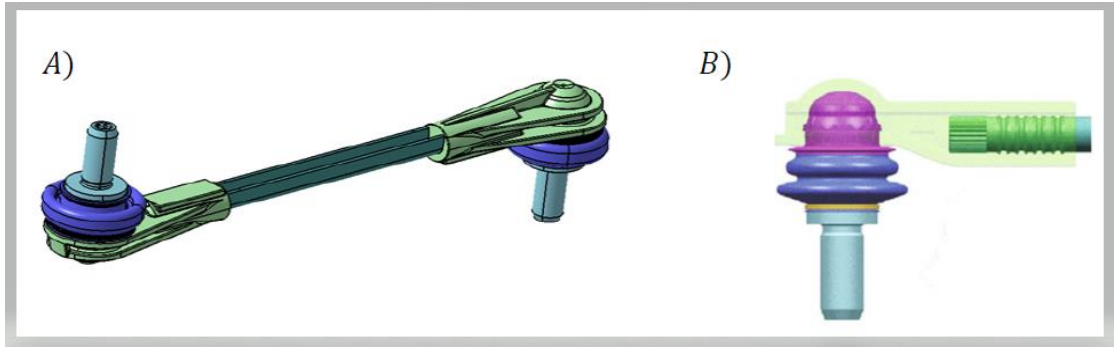
Plastik yatak malzemesi seçilirken mafsal mili ve plastik yatak arasındaki kayma sürtünmesi dikkate alınmalıdır. Kayma sürtünmesi Z rot montajının yükler karşısındaki dayanımını belirler. Ayrıca, plastik yatak küresel yüzeyinin üretim toleranslarını dengeler. Mükemmel koruma uygulamaları için metal yüzeylerin çinko bazlı yüzey korumasıyla kaplanması ve eklem bağlantıları için de en uygun gresin geliştirilmesi gerekir. Bu her proje ve ilgili uygulama alanı için yapılmalıdır [8].

Sızdırmazlık körüğü de dış ortamdan gelebilecek her türlü istenmeyen sıvı ve kirleri önleyerek eklem kısmını korozyondan korur.

Son yıllarda plastik Z rotlar üzerine çalışmalar giderek yaygınlaşmaktadır ve gelecekte otomotiv sektöründe plastik malzemeden imal edilen Z rotların kullanılacağı öngörülmektedir. Plastik kullanımı Z rotların ağırlığını azaltarak, parça sayısını en aza indirerek ve imalat sürecini kısaltarak önemli avantajlar sağlayacaktır.

Plastik Z rotlar düşük maliyetle üretilebilse de, parça başına daha çok kar sağlamak için yüksek adetlerde üretilmesi gereklidir. Bunun sebebi enjeksiyon kalıplamada kullanılan kalıpların ve malzemelerinin fiyatlarının yüksek olması, yoğun kalıp işçiliği, kalıp bakım ve revizyonlarına harcanan süredir.

Plastik malzemeden üretilen Z rotlar U rodlu veya yuvarlak kesit rodlu olarak tasarlanabilmektedir (Şekil 14).



Şekil 14 A) U Rodlu ve B) Yuvarlak kesit Rodlu plastik Z rotlar [33]

3.5 Z Rot Tasarımda Gözönünde Bulundurulacak Özellikler

Otomotiv tasarımında genel olarak; kalite, uygun maliyet, sağlamlık ve dayanıklılık, sürüş emniyeti, aerodinamik, tol tutuşu, konfor ve yakıt tüketimi değerleri dikkate alınır. Z rotların tasarımı yapılırken de bu nitelikler öncelikle göz önünde bulundurulmalıdır [34].

3.6 Otomotiv Sanayinde Tasarım Süreçleri

Z rotların tasarım süreci otomotiv üreticilerinden gelen talepler doğrultusunda ön proje çalışmaları ile başlar. Sonraki süreçte bilgisayar ortamında üç boyutlu tasarımlar ve analizler gerçekleştirilir. Bilgisayarda yapılan tasarımlar sonrasında prototip olabilecek tasarımlara ulaşılır. Uygun prototip seçilerek Z rot üretimi yapılır ve bu Z

rotlar üzerinde çekme, yorulma, pull-out, push-out gibi çeşitli testler gerçekleştirilerek tasarımın uygunluğuna karar verilir. Testler sonucunda istenilen performansı gösteren prototip Z rotları seri üretime alınır. Testlerde istenilen performansı gösteremeyen tasarımlar dikkatle incelenerek gerekli geliştirme çalışmaları ile revize edilirler [33].

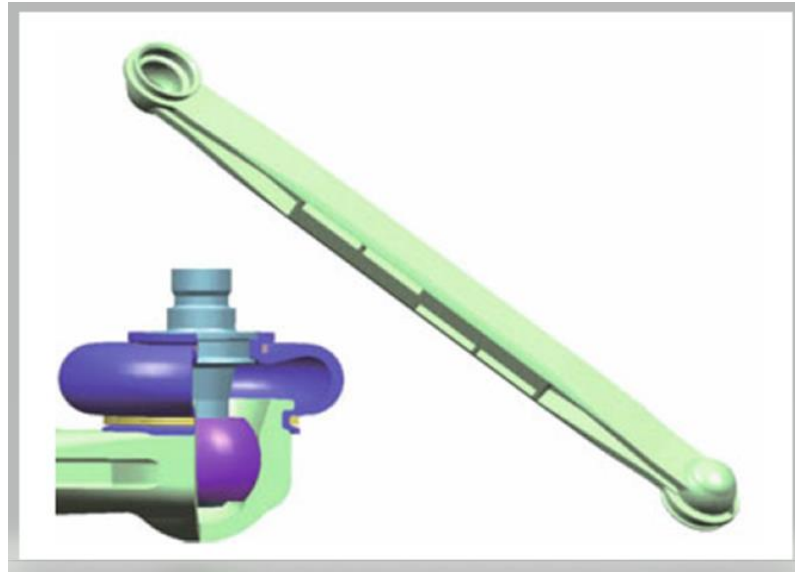
Bu tasarım süreçlerini genel olarak aşağıdaki gibi detaylı şekilde açıklayabiliriz.

3.6.1 Ön Projeler

Z rot tasarımı esnasında Araştırma Geliştirme bölümünde çalışan bütün mühendis ve teknik çalışanlar düşüncelerini söyler, bu şekilde ilk çizimler yapılarak tasarım süreci başlar. İlk yapılan bu çizimler bilgisayarda 3 boyutlu ve 2 boyutlu olarak modellenebilir.

3.6.2 Bilgisayarda Yapılan Tasarımlar

Otomotiv endüstrisinde en sık kullanılan takviye malzemesi cam ve karbon fiberdir. Bilgisayar destekli tasarım (CAD) sürecinde de bu dikkate alınmalıdır. Tasarım programları ile polimer kompozitelerin mekanik özellikleri belirlenmelidir [35]. Bu tez çalışmasında da binek bir aracın süspansiyon sisteminde kullanılan Z rotunun bilgisayar destekli tasarımını incelenmiştir. Şekil 15’de polimer kompozit malzemedan tasarımı yapılan Z rot görülmektedir.



Şekil 15 Örnek Bir Binek Araç Z Rotu İçin Tasarım Modeli

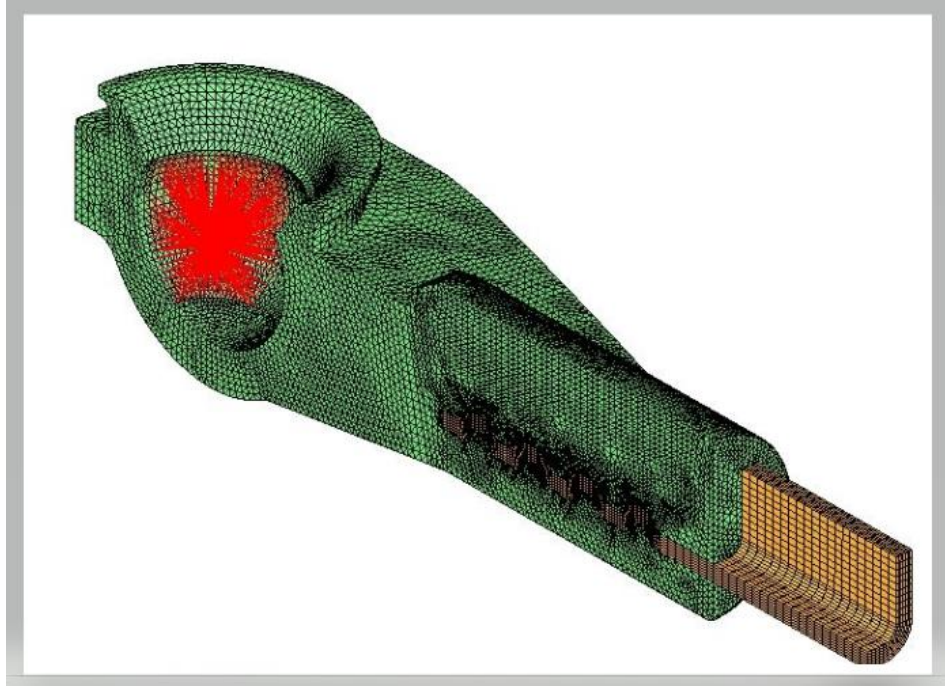
Bilgisayar ortamında gerçekleşen tasarımlar günümüzde çok önemli seviyededir. İmalat yapana sanayiciler yorulma, gerilim gibi testlerini de bilgisayar ortamında simülasyon (sonlu elemanlar analizi) yöntemi sayesinde gerçekleştirebilmektedirler. Sonlu elemanlar analizi, CAD programlarıyla birlikte çalışabilmeleri sebebi ile özellikle otomotiv endüstrisinde tercih edilmektedirler. Bu analiz yönteminin kullanılmasıyla makine ve otomotiv parçalarının herhangi bir test işlemine tabi tutulmadan öncelikle yorulma analizleri gerçekleştirilebilmektedir. Bu sayede parçaların imal edilmeden çalışma ortamında nasıl dayanım göstereceği bilinmektedir [36].

Günümüzdeki imalat yapan kuruluşların kullandığı CAD programları, imalatta hangi ham malzemenin seçileceğini, nasıl işleneceğini ve tüm analizlerini yapabilmektedirler.

Bu programlarla yapılan tasarımlara ayrıca optimizasyon yapmak da gerekebilir. Mühendislik hesaplamalarında optimizasyon kavramı, bir sistemde var olan işgücü, hammadde, zaman, imalat süreçleri, gibi konularda verimliliği (masrafların azaltılması, karlılığın artırılması) artırarak imalat yapabilme yeteneğidir [37].

Binek araç Z rotu cam fiber takviyeli polimer kompozit malzemeden üretilebilir. Bu malzemenin üretim yöntemi plastik enjeksiyon prosesi ile yapılır. Sonlu elemanlar yöntemini kullanarak, parçanın tüm mekanik özellikleri girilerek, üç boyutlu model yaratılır. Yapılan tasarım ve sonlu elemanlar analiz sonuçlarına göre bir prototip üretilerek, bu prototipe gerekli mekanik veya fiziksel testler uygulanır. Bu testlerin sonucunda eğer Z rota malzeme ekleme ihtiyacı doğarsa, tekrar sonlu elemanlar analizi yapılarak bu eksiklik giderilir [37].

Şekil 16'da sonlu elemanlar metoduna göre modellenmiş bir Z rot görülmektedir.



Şekil 16 Z rot için sonlu elemanlar tasarımı

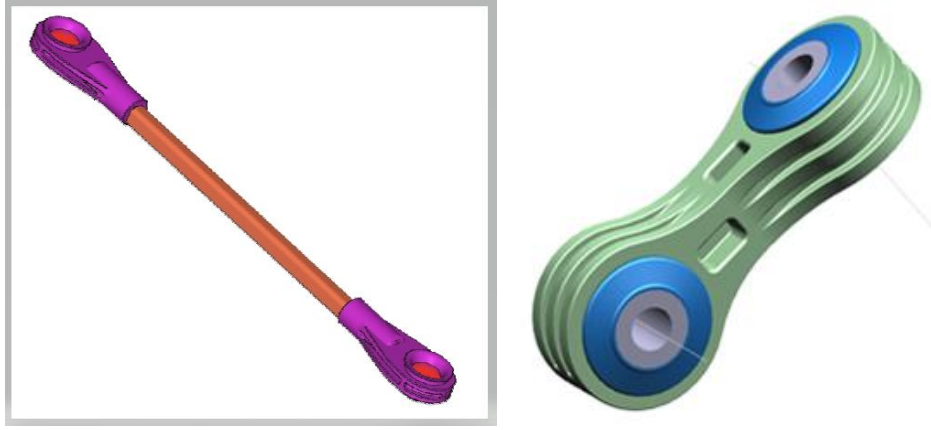


Şekil 17 Uçakta yapılmış olan bir optimizasyon örneği

Optimizasyonda önemli bir nokta ise tasarım ve modellemedeki uç noktaları yuvarlamaktır. Şekil 17’de görüldüğü gibi uçak tasarımında keskin köşeler yuvarlatılarak hedeflenen en önemli amaç, parçanın yüzeyden oluşabilecek yorulma çatlaklarını bir nebze olsun önleyerek, yorulma kırılmalarını engellemektir. İmal edilecek her parçanın tasarımında bu konulara dikkat edilmesi gerekir [37].

3.6.3 Prototip ve Yapılan Testler

CAD işlemlerinin ardından, farklı tasarımlardan birer tane üretilerek çeşitli tipte prototip Z rotlar oluşturulur. Prototip üzerinde çeşitli mekanik testler (aşınma, ömür, çekme, burulma, sızdırmazlık..gibi) yapılır. Bu sayede firma üreteceği Z rotun eksiklerini gidererek mükemmelleştirilmesini sağlar. Şekil 18’de bilgisayarlarda yapılan Z Rot modelleme örnekleri görülmektedir.



Şekil 18 Bilgisayarda yapılan Z Rot modelleme örnekleri

3.6.4 Seri Üretim Sürecinin Planlaması

Prototip Z rotlar oluştuktan sonra, parçaya son şeklin verilmesi için seri üretim planlama süreci başlatılır. Tasarım mühendisleri Z rotların tasarımını bitirdikten sonra, iki boyutlu alt parça resimleri de hazırlanır ve yayınlanır. Bu şekilde imalattaki herkes bu resimleri görebilir. Oluşturulan bu alt parça resimlerine göre satınalma grubu tedarikçilerle konuşup planlamalar yaparak, üretim grubu ise alltta belirtilen işlem basamaklarına göre üretim planlamasını gerçekleştirirler.

- İmalatın ne zaman yapılacağı, hangi cihazlarda imalatın gerçekleştirileceği ve üretim hacimlerinin planlanması,
- Oluşturulan iki boyutlu resimlere göre alt tedarikçiler ile konuşup gerekli kalıpların hazırlanması,
- İmalat cihazlarında revizyonlar gerekliyse, planlanması,
- Z rot montajını oluşturan, alt komponentlerin kalıplarının, araç gereçlerinin, tezgahlarının tamamlanması,

- İmalat tezgahlarında çalışacak olan kalifiye teknik personelin ve çalışma saatlerinin netleştirilmesi,
- Z rotların montaj hatlarının otomasyon süreçlerinin hazır hale getirilmesi,
- İmalatı yapılan Z rotların, kalite kontrol sürecinin planlanması ve teknik personel hazırlığı,

Bütün bu işlemlerden sonra seri üretime geçilir [33].

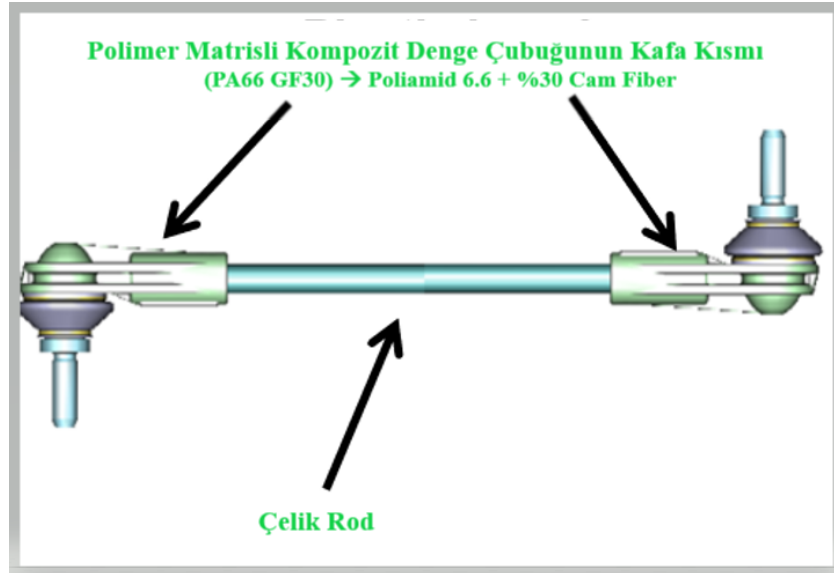
4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

4.1. Kullanılan Malzemeler

Şekil 19’da gösterilen polimer matrisli kompozit denge çubuğunun kafa kısmının malzemesi “Ultramid A3WG6 (PA6.6 GF30) dir. Bu malzeme Poliamid 6.6 ve %30 cam fiberden oluşmaktadır. Malzeme Dupont firmasından granül halde temin edilmiştir.

IPA (Plastik Enjeksiyonlu Montaj) denge çubuğunu oluşturan çelik rod da Prinz firmasından montajımıza uygun boyda ve soğuk dövülmüş şekilde temin edilmiştir.

Plastik enjeksiyon işleminden sonra polimer matrisli kompozit kafa kısmı ve çelik rod ile birlikte montajı oluşturan diğer komponentlerin (sıkma halkaları, toz lastiği, gres..) de montajı yapılmıştır.



Şekil 19 Poliamid 6.6 + % 30GF malzemedan imal edilmiş binek araç Z rotu

Polimer matrisli kompozit denge çubuğunun kafa kısmının imalatında kullanılan malzemesinin Ultramid A3WG6 (PA66 GF30) mekanik özellikleri Tablo 2’de gösterilmiştir.

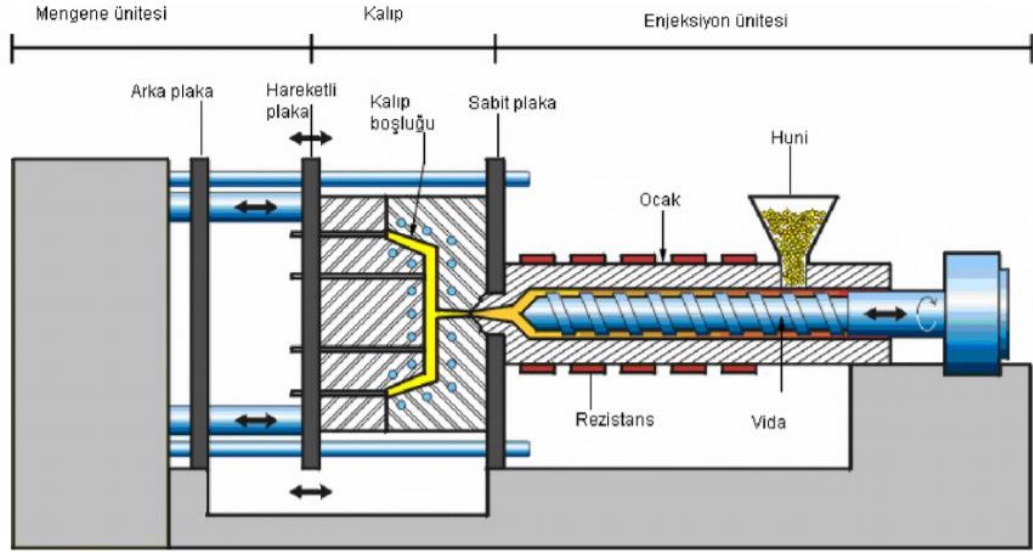
Tablo 2 Ultramid A3WG6 (PA6.6 GF30) Malzemesinin Teknik Özellikleri:

Mekanik Özellikler	Normal / Koşullu
Çekme modülü	10000 / 6000 MPa
Kırılma anındaki gerilme	170 / 110 MPa
Kırılma anındaki şekil değişimi	3 / 6%
Charpy darbe dayanımı (+23°)	75 / 85 kJ / m ²
Charpy darbe dayanımı (-30°)	60 / 60 kJ / m ²
Termal Özellikler	Normal
Erime sıcaklığı, 10°C / dak.	263°C
Yük altındaki sıcaklık, 1.8MPa	242°C
Yük altındaki sıcaklık, 0.45MPa	>250°C
Oksijen indeksi	23%
Elektriksel Özellikler	Normal / Koşullu
Elektriksel dayanımı	35 / 30kV/mm
Diğer Özellikler	Normal
Su Emilimi	5.5%
Nem Emilimi	2%
Yoğunluk	1360Kg/m ³

4.2 Plastik Enjeksiyon Yöntemi ile Z rotun Üretimi

Plastik enjeksiyon kalıplama makinasının bölümleri ve parçaları şematik olarak Şekil 20’de görülmektedir. Plastik enjeksiyon makinasının en önemli parçalarını; arka plaka, hareketli plaka, kalıp malzemeleri, ısıtma ocağı ve rezistans şeklinde sıralayabiliriz. Aynı parçadan, sürekli olarak ve çok adette imalat yapılması halinde plastik enjeksiyon kalıplama işlemi gayet de kazançlı bir süreçtir.

Plastik enjeksiyon makinasının çalışma mantığını şu şekilde açıklamak mümkündür. Polimer granüller veya tozlar halinde tedarikçi firmalardan alınan reçinenin besleme hunisinden silindire aktarılması, burada reçinenin rezistans yardımıyla ısıtılarak ergimiş hale getirilmesi, silindirin içinde bulunan sonsuz vida ile ergimiş polimerin silindirin ön kısmına taşınması ve ergimiş polimerin yüksek basınç kullanılarak kalıbın boşluğuna sevk edilmesi şeklinde anlatılabilir.



Şekil 20 Plastik enjeksiyon makinası

Kalıbın şekline bağlı olarak Z rotun son ürün halini alması için akışkan polimerin soğuyuncaya kadar baskı altında tutulması ve hesaplanan süre sonunda kalıbın açılması sonucu Z rot ürününün kalıptan dışarıya çıkarılması amaçlanır. Kalıp açıldığı anda Z rot ürünü çıkar, daha sonra kalıp tekrar kapandığında yeni bir çevrim başlayarak, tekrardan erimiş akışkan polimer kalıp boşluğunu doldururak, plastik enjeksiyon kalıplama süreci bu şekilde devam eder [38].

PA66 GF30 granül malzemelerin nem içeriği %0.1 olarak ölçülmüştür. Ön işleme için bu granül malzemeye 80°C'de yaklaşık 3 saat süresince kurutma işlemi uygulanmıştır. Polimer kompozit kafa kısmı, çelik rod ve mafsalların birlikte plastik enjeksiyon işleminde JOMWAI marka 150 ton'luk plastik enjeksiyon makinesi kullanılmıştır. Plastik enjeksiyon işleminde polimer erime sıcaklığı: 280-300 ° C ve kalıp sıcaklığı: 80-120 °C arasında ayarlanmıştır.

4.3 Yorulma Testi Öncesinde Z Rotların Koşullandırılması

Şekil 21'de gösterilen klima ünitesi iklimlendirme odasında plastik enjeksiyon ile üretilen Z rotlara yorulma testinden önce koşullandırma süreci uygulanmaktadır. Tez çalışmasında yorulma testinden önce üretilen 8 adet Z rot numunesinin 4'üne termal koşullandırma uygulanmıştır.

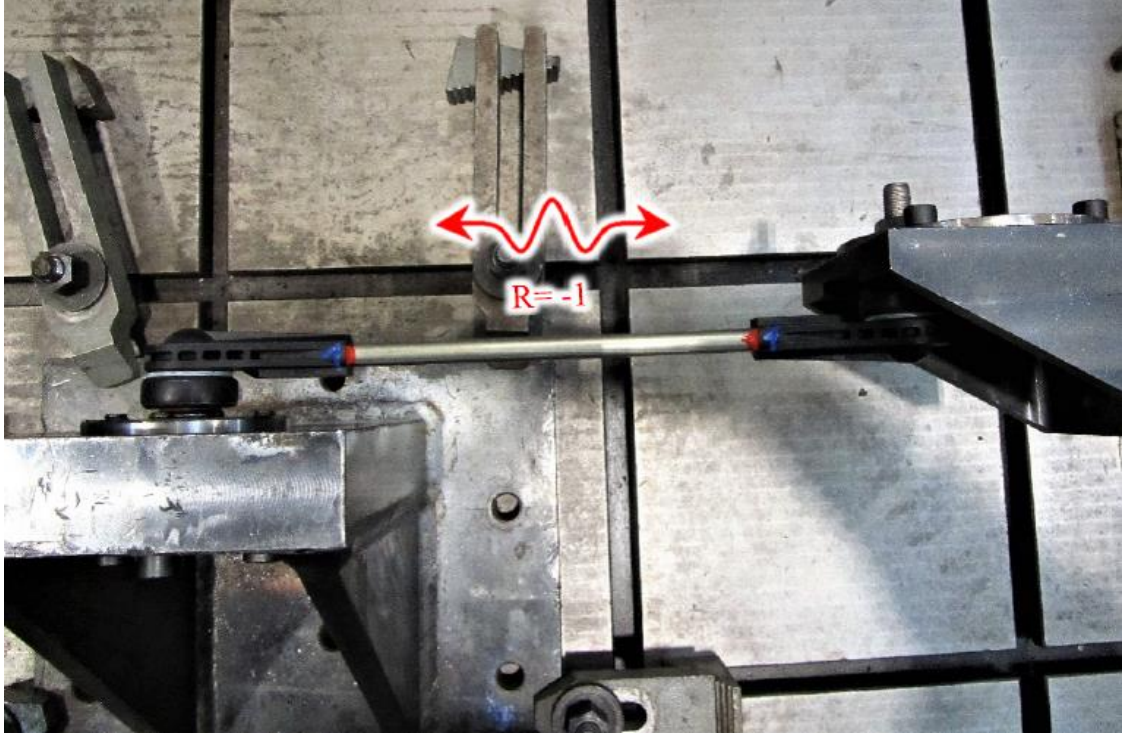


Şekil 21 Klima üniteli iklim odası

ZF Grubu tarafından kullanılan iklimlendirme cihazı markası Hantech ve modeli WK3-180/70 dir. Cihazın entegre su depolama tankı ve otomatik su geri besleme ünitesi kesintisiz bir iklimlendirme yapılmasını mümkün kılar. Cihazdaki koşullandırma sıcaklık aralığı -30°C ile 180°C arasındadır. Bu tez çalışması kapsamında numunelere klima üniteli iklimlendirme odasında uygulanan termal koşullandırma şartları şu şekilde olmuştur: Numuneler öncelikle -20°C sıcaklığa soğutulmuş ve bu sıcaklıkta 10 dakika kadar bekletilmiştir. Daha sonra numuneler 100°C sıcaklığa ısıtılmış ve bu sıcaklıkta 10 dakika kadar bekletilmiştir. Bu işlemlerden sonra numuneler yorulma test cihazına bağlanmışlardır. Burada amaç termal koşullandırma uygulanan 4 numuneyle, termal koşullandırma uygulanmayan 4 numunenin yorulma dayanımlarının farklarının görülebilmesidir.

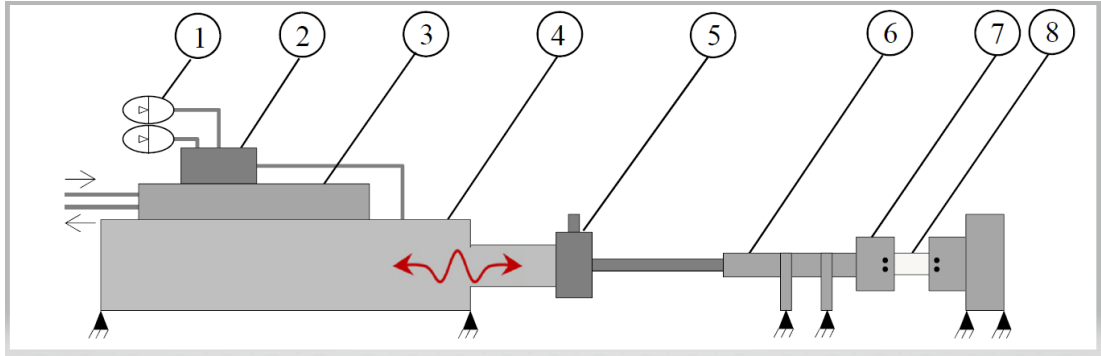
4.4 Plastik Enjeksiyon ile Üretilmiş Z Rotun Yorulma Testi'nin Yapılışı

Yorulma testi için Şekil 22'de görülen test cihazı kullanılmıştır. Bu cihaz yardımıyla Z rotların, rotillerin, salıncak kollarının ve rot başlarının yorulma testleri kolaylıkla yapılabilmektedir. Test sıcaklığı, oda sıcaklığı olarak 23°C seçilmiştir. Yorulma cihazı $\pm 63\text{kN}$ yük, $\pm 50\text{ mm}$ yerdeğiştirme ve 220 bar çalışma yağ basıncı kapasitesi sahiptir.



Şekil 22 Yorulma Testi Düzenegi

Şekil 23’de Yorulma Testi Düzenegi’nin ayrıntılı parçaları ve aşağıda bu parçaların detaylı bir şekilde açıklamaları verilmiştir.



Şekil 23 Yorulma Testi Düzeneginin ayrıntılı parçaları

- | | |
|-------------------------------|---------------------------------|
| 1- Hidrolik Akümülatör | 5- Güvenlik Çubuklu Yük Hücresi |
| 2- Elektrohidrolik Servo Valf | 6- Çekme Çubuğu ve Yatak Bloğu |
| 3- Hidrolik Blok | 7- Sabitleme fikstürü |
| 4- Hidrolik Silindir (10 kN) | 8- Örnek Parça |

Hidrolik Akümülatör : Basınç regülatörü olarak ana hidrolik sisteminden gelen yağ basıncını istenilen seviyede tutar.

Güvenlik çubuklu yük hücresi : Uygulanan yükü ölçüp bilgisayara geribesleme yapar ve yük grafiklerinin oluşmasını sağlar.

Hidrolik Silindir : Hidrolik akümülatörden uygulanan yükün test parçalarına iletilmesini sağlayan ara aparatır.

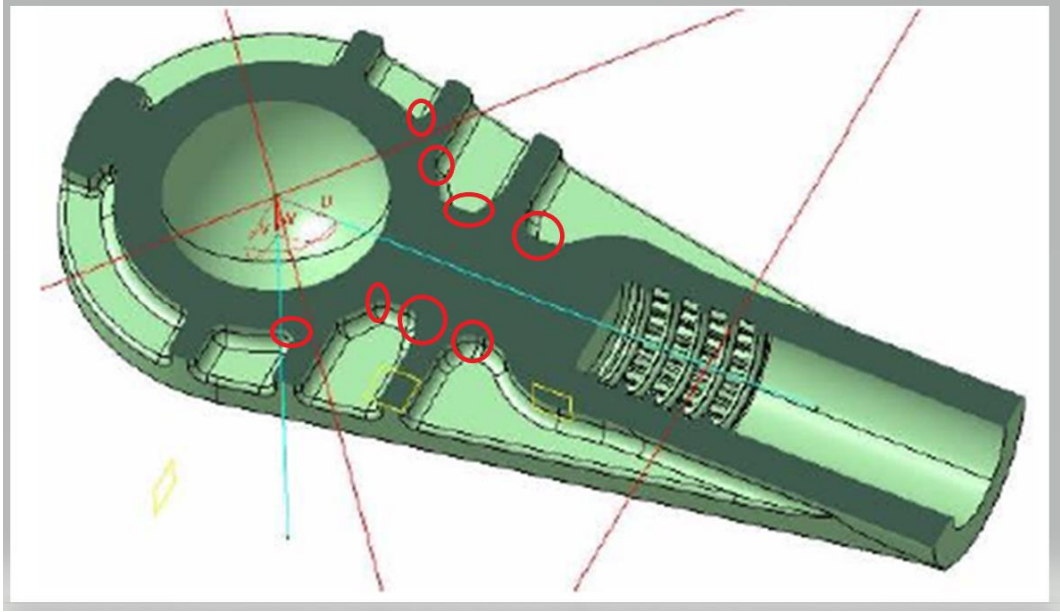
Hidrolik Blok : Yağ pompalarından oluşan ve gerekli olan maksimum yağ basıncının elde edilmesi için kurulu olan sistemdir.

Termal koşullandırma işleminden sonra 4 numuneye sırasıyla, $\pm 4\text{kN}$ ve 7Hz , $\pm 5\text{kN}$ ve 7Hz , $\pm 5\text{kN}$ ve 10Hz , $\pm 6\text{kN}$ ve 7Hz yükler uygulanmıştır. Termal koşullandırma uygulanmayan 4 numuneye de sırasıyla $\pm 4\text{kN}$ ve 7Hz , $\pm 5\text{kN}$ ve 7Hz , $\pm 5\text{kN}$ ve 10Hz , $\pm 6\text{kN}$ ve 7Hz olarak yükler uygulanmıştır. Test sonuçlarına göre Wöhler prensibine göre S/N diyagramları oluşturulmuştur.

4.5 Üç boyutlu Tasarımı Yapılan Numuneler

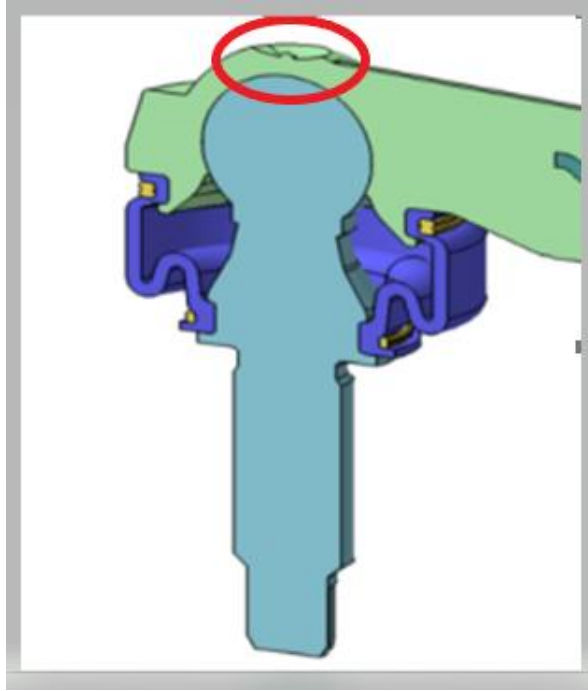
Plastik enjeksiyonda akışın sağlanması için yüksek basınçlara çıkılmaktadır. Keskin köşeler akışı engelleyici etki yaparlar ve buralarda gerilim yoğunlaşması meydana gelir. Bu nedenle parçanın bu kesitlerinin darbeye karşı mukavemeti azalır. Ayrıca parçanın kalıptan kolaylıkla sıyrılması engellenir. Hem akışın, hem de parçanın kolaylıkla çıkabilmesi yanında parçadaki gerilimlerin dağıtılması bakımından iç ve dış köşelere radyüs verilmelidir. Böylece erimiş polimerin engelsiz ve uzun akması sağlanabilir [38].

Bu nedenle tez çalışmasında Poliamid 6.6 GF30 malzemeye sahip kafa parçasının iç kısmına Catia V5 programı ile üç boyutlu tasarım değişiklikleri yapılmıştır. Burada yapılan güncellemeler; 1. numunede ilk olarak keskin olan yüzeyleri yuvarlatılarak çentik etkisini azaltılmaya çalışılmıştır. (Şekil 24)



Şekil 24 1.numunede üç boyutlu CAD programında yapılan güncelleme

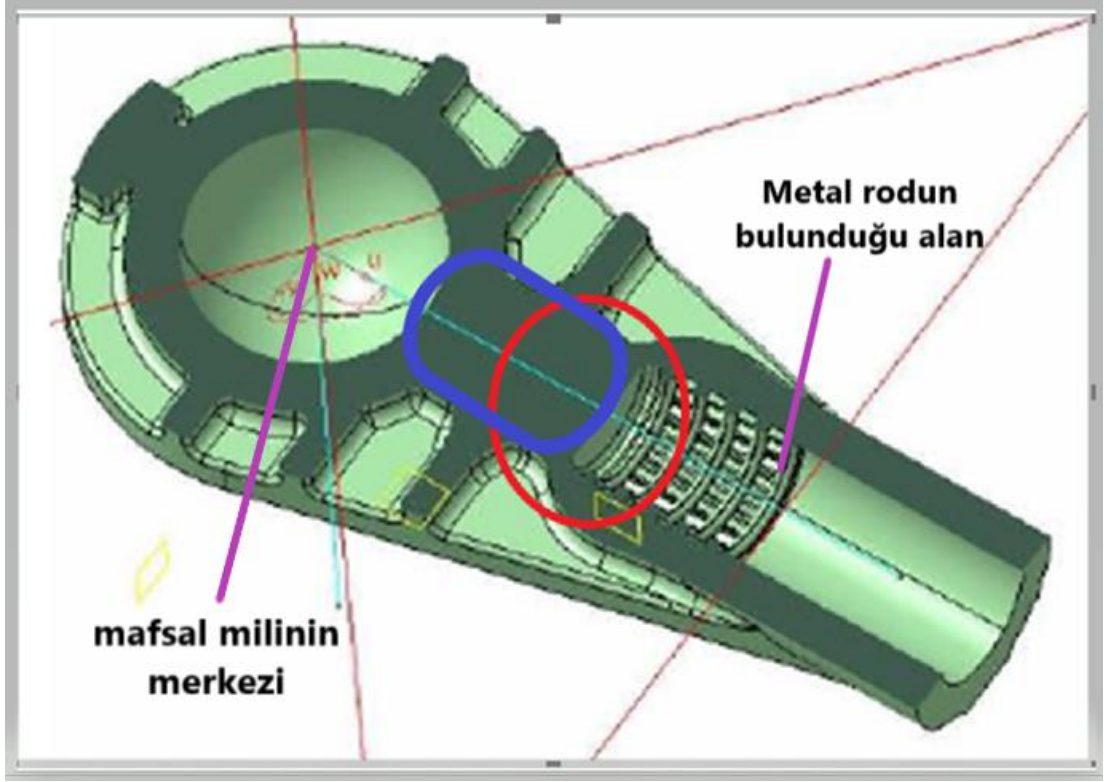
Şekil 25’de açıkça görüldüğü gibi plastik malzemenin giriş noktasından metal roda doğru malzeme akışı kolaylaştırılmıştır.



Şekil 25 Akışkan plastik malzeme giriş noktası

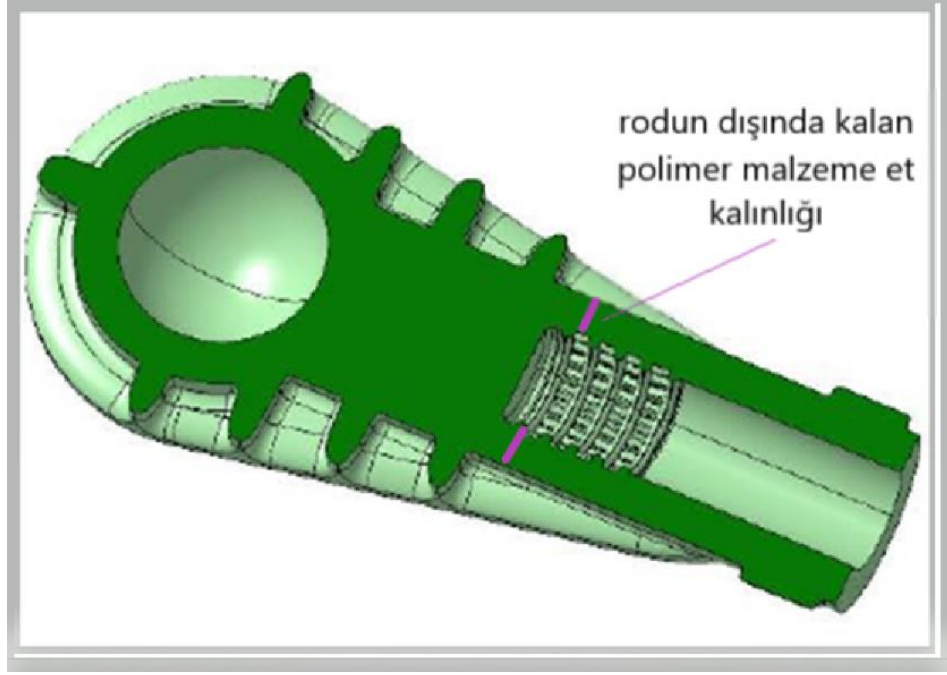
2.numunede ise 1. numuneden farklı olarak metal rod mafsal milinin merkezine doğru yani Şekil 26’de görüldüğü gibi sola doğru 8 mm taşınmıştır. Buradaki birinci amaç 1. numunede rahatlıkla görülebilen malzeme birikmesini azaltmaktır. Böylece bu alanda oluşabilecek gerilmenin azaltılması hedeflenmiştir. Şekil 26’daki

gösterilen mavi renkli alan küçültülmüştür. Bu şekilde polimer alanı azaltmıştır. Polimer alanı büyüdükçe Z rot numunesi mukavemet açısından zayıflamaktadır ve kırılma öncelikle buradan gerçekleşmektedir.



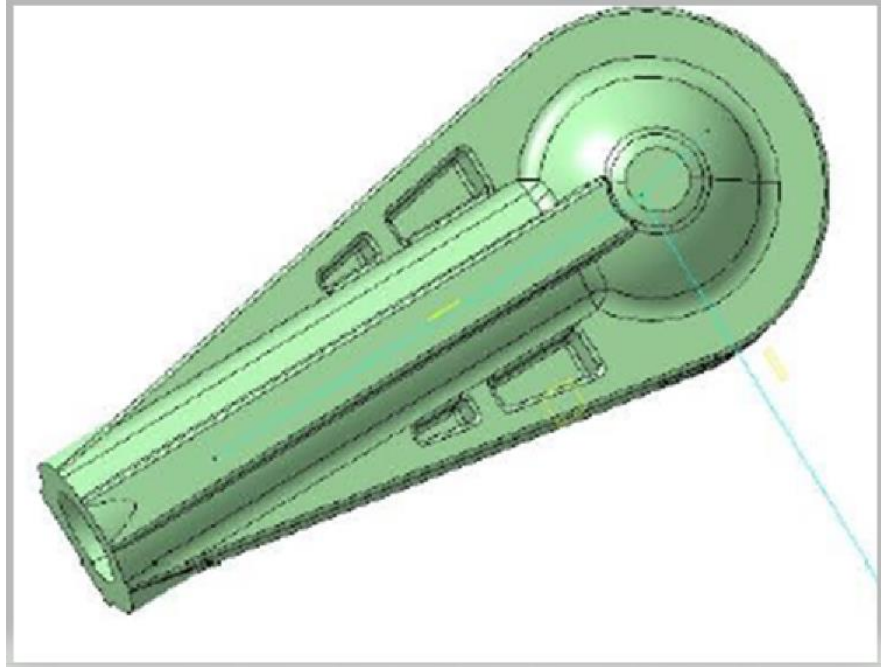
Şekil 26 2. numunede üç boyutlu CAD programında yapılan güncellemeler

3. numune dış yüzeyinde daha çok boşluk olan ancak iç kısmı daha keskin hatlara sahip olan bir tasarımdır. Bu parçanın tasarlanmasındaki amaç 1., 2. ve 4. numuneleri ile karşılaştırılma yapmaktır. Böylelikle keskin hatlara sahip bir parça ile daha yuvarlatılmış hatlara sahip diğer parçaların analiz sonuçları kolaylıkla yorumlanabilecektir. Ayrıca, malzeme akış simülasyonu vasıtasıyla numunelerdeki polimer akış farklılıkları incelenebilecektir. Şekil 27'deki mor renk ile gösterilen polimer malzemenin et kalınlığı da numunelerin yorulma ömrünü etkileyen parametreler açısından çok önemlidir. Literatürde örneğin bu mesafenin 3,5 mm olması ile 4,00 mm olması arasında yorulma ömrü açısından yaklaşık %10 gibi bir fark olmaktadır. Et kalınlığı 4,00 mm olan numunelerin 3,5 mm olan numunelere göre daha dayanımlı olduğu görülmüştür.



Şekil 27 3. numunede üç boyutlu CAD programında yapılan güncellemeler

4. numunenin iç yapısı 1. numune ile aynıdır. Ancak şekilde görüldüğü üzere sadece numune dış yüzeyinin yukarı kısmında boşluklar açılmıştır. Bu boşluklar hem polimer malzeme akışını kolaylaştırmak hem de malzememin iç yapısında oluşabilecek gerilimi azaltmak için oluşturulmuştur.(Şekil 28)

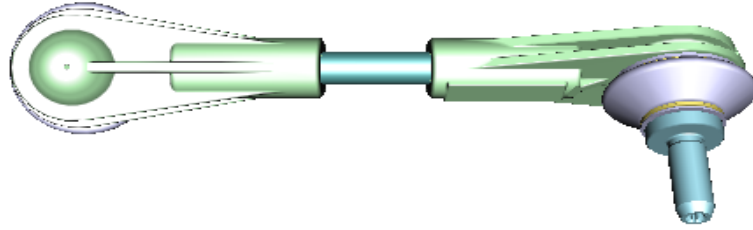


Şekil 28 4. numunede üç boyutlu CAD programında yapılan güncellemeler

4.6 Bu çalışmada kullanılan Sonlu Elemanlar yöntemi

Bu çalışmada, polimer matrisli kompozit denge çubuklarının kafa kısmı için çatlak içermeyen ve/veya çatlak oluşturma riskini en aza indirecek optimum tasarım hedeflenmiştir. Üretim yöntemi olan plastik enjeksiyon prosesi sırasında meydana gelebilecek gerilme ve basınç etkileri de dikkate alınarak sonlu eleman analizleri gerçekleştirilmiş ve farklı tasarım varyantları oluşturularak yorulma, çekme yükleri ve burulma katılığı gibi farklı koşullar karşılaştırılmıştır. Buna ek olarak, plastik enjeksiyon prosesi sonucunda fiber (elyaf) oryantasyon yönelimleri de incelenmiştir.

İlk olarak CATIA V5R19 programında polimer matrisli kompozit denge çubuğunun üç boyutlu modellenmesi yapılmıştır. Şekil 29'da tasarlanan kompozit denge çubuğunun montaj resmi gösterilmektedir.



Şekil 29 Z Rot'un 3D montaj CAD Modeli

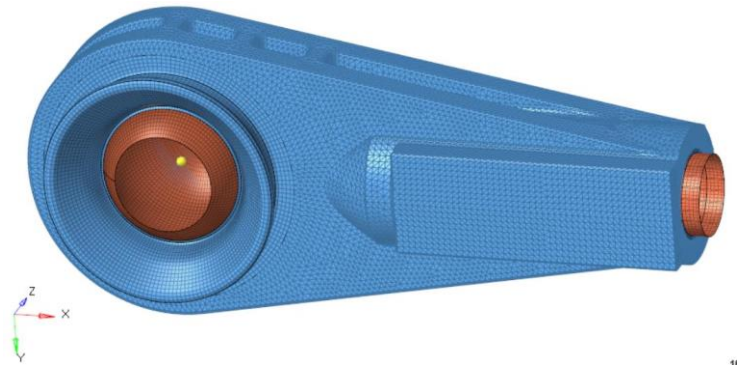
Sonlu elemanlar modeli (FE modeli), ağ modelinin (Mesh) oluşturulmasında Altair Hyperworks grubuna ait Hypermesh yazılım programı kullanılırken, sonuçların incelenmesinde Altair Hyperworks grubuna ait Hyperview paket programından yararlanılmıştır. Plastik enjeksiyon prosesi, Sigmasoft yazılımı aracılığı ile fiber oryantasyonları da dikkate alınarak simule edilmiş olup, üretim prosesi sonrasındaki koşullar, Digimat adı verilen başka bir paket program ile sonrasında gerçekleştirilecek olan non-linear sonlu eleman analizlerine aktarılmıştır. Son olarak da, plastik enjeksiyon simülasyonu sonrasında Abaqus programı ile non-linear analizler gerçekleştirilmiştir.

Sonlu elemanlar modeli gövde (yatak), küre ve şaft olmak üzere toplamda 3 bileşenden oluşmaktadır. Üç boyutlu modeller, parça lokal koordinat sisteminde, küre merkez noktası 0,0,0 olacak şekilde konumlandırılmıştır. Küre ve şaft komponentleri, daha hızlı çözüm elde etmek için 360° analitik kaskatı (rijit) parça

olarak, gövde ise plastik deformasyon ve gerilme oluşacak şekilde 3 boyutlu olarak deforme olabilir şekilde modellenmiştir.

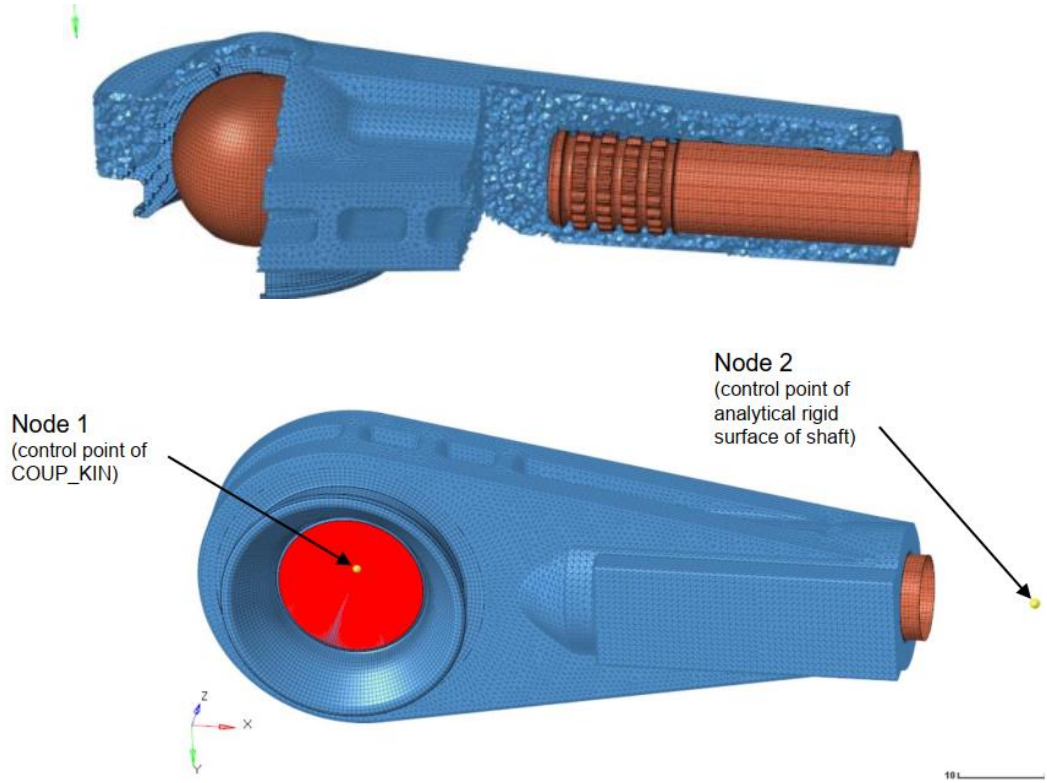
Malzemenin elastik ve plastik bölgedeki davranışı malzemeye özgü çeşitli parametrelerle ifade edilmektedir. Her malzeme için farklı olan bu değerler bilgisayar ortamına girilerek yapıların istenilen koşullar altında nasıl bir performans göstereceği belirlenmektedir.

Bu tez kapsamında, sonlu elemanlar modelinde, gövde malzemesi olarak Ultramid A3WG6 (PA66 GF30) seçilmiştir. Analizler sırasında, gövde malzeme özellikleri, gerilme-birim şekil değiştirme eğrilerinden çekme testi ile elde edilen veriler kullanılarak, anizotropik malzeme özellikleri dikkate alınmıştır. Gövdenin ağ modeli (mesh) 3 boyutlu C3D10 elemanlar kullanılarak, küre ve şaft sırasıyla C3D8 ve C3D6 eleman tipleri ile modellenmiştir. Daha kaliteli temas davranışından dolayı temas bölgesinde altı yüzlü (Hexahedral) eleman ağı (mesh) kullanılmıştır. Şekil 30'da ağ yapısı oluşturmuş model gösterilmektedir.



Şekil 30 Ağ yapısı oluşturulmuş denge çubuğu FE modeli

Denge çubuğunun, küre kinematik noktasına rijit eleman (RBE2) tanımlanmıştır. Bu sayede gövdenin küresel mafsalsal merkezindeki düğüm noktasına kuvvet kolaylıkla uygulanacaktır (Şekil 31). Analitik kaskatı yüzeyler ile gövde arasında temas çifti tanımlanmış ve sürtünme katsayısı 0.05 olarak alınmıştır.

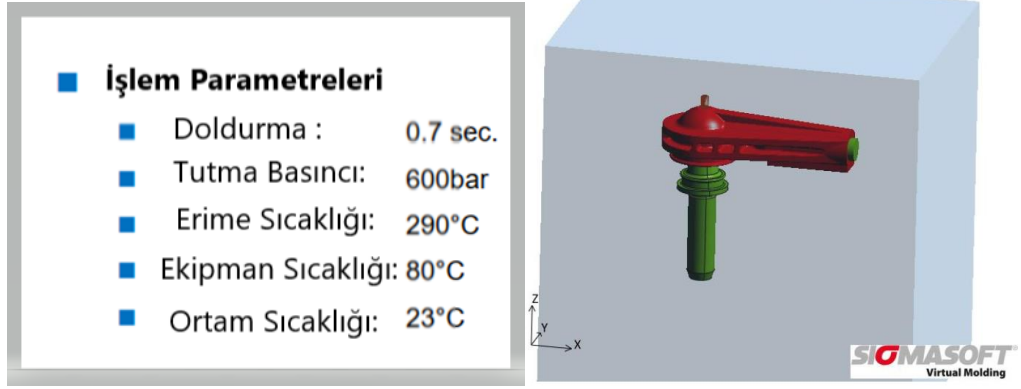


Şekil 31 Denge çubuğunun kinematik noktalarının gösterimi

Çekme yükleri altındaki davranışını incelemek için gerçekleştirilen sonlu elemanlar analizlerinde, 1 numaralı düğüm noktasının y ve z yönlerindeki ilerleme serbestlik dereceleri ($T_y=T_z=0$) ve x,y,z yönündeki dönme serbestlik dereceleri kısıtlanırken ($R_x=R_y=R_z=0$), 2 numaralı düğüm noktasının tüm serbestlik dereceleri kısıtlanmıştır ($T_x=T_y=T_z= R_x=R_y=R_z=0$). Çekme yükü rijit küre vasıtasıyla, 1 numaralı düğümüne x doğrultusunda uygulanmıştır.

Katılık analizlerinde ise 1 numaralı düğüm noktasının sadece y ve z yönlerindeki ilerleme serbestlik dereceleri ($T_y=T_z=0$) kısıtlanırken, 2 numaralı düğüm noktasının tüm serbestlik dereceleri kısıtlanmıştır ($T_x=T_y=T_z= R_x=R_y=R_z=0$). Dönme hareketi çekme analizlerinde olduğu gibi 1 numaralı düğüm noktasından x yönünde küre vasıtasıyla verilmiştir.

Plastik enjeksiyon simülasyonu sırasında kullanılan proses parametreleri aşağıda verilmiştir.(Şekil 32)



Şekil 32 Plastik enjeksiyon simülasyonu sırasında kullanılan proses parametreleri

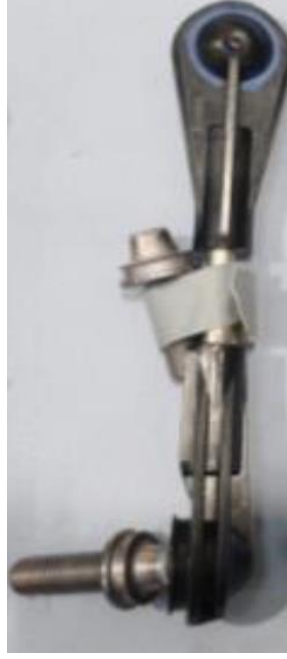
5. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

5.1 Termal Koşullandırma Şartlarından sonra oluşturulan Wöhler Eğrisi

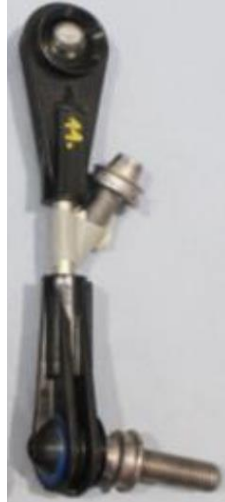
Tablo 3 Termal koşullanmadan sonra, Yorulma testinde numunelere uygulanan kuvvet, frekans ve yorulma testi sonucundaki çevrim sayıları.

Numune no	Kuvvet(kN)	Frekans(Hz)	Çevrim sayısı (cycles)
1	±4	7	1.020.000
2	±5	7	326.420
3	±5	10	150.270
4	±6	7	12.600

Tablo 3’de termal koşullandırma işleminden sonra numunelere uygulanan kuvvet ve frekansa bağlı olarak gerçekleştirilen yorulma testleri sonucunda elde edilen yorulma çevrim sayıları verilmektedir. Termal koşullandırma uygulanan 1. Numune ±4 kN’luk kuvvet ve 7 Hz’lik bir frekans altında 1.020.000 çevrim sayısı kadar dayanmıştır ve yorulma testi sonucunda mafsal mili boyun bölgesinden kırılmıştır. Şekil 33’de çelik mafsal milinin en zayıf kısmının boyun bölgesi olduğu görülmektedir. Bu boyun çapının artırılması ile yorulma çevrim sayısının arttırılabileceği düşünülebilir.



Şekil 33 Yorulma testinden sonra mafsalsal mili boyun bölgesinden kırılan 1. Numune Termal koşullandırma uygulanan parçalardan 2. Numune ± 5 kN'luk kuvvet ve 7Hz'lik bir frekans altında 326.420 çevrim sayısı kadar dayanarak, bu çevrimde mafsalsal mili boyun bölgesinden kırılmıştır. Şekil 34'de de çelik mafsalsal milinin en zayıf kısmının boyun bölgesi olduğu görülmektedir. Bu boyun çapının artırılması ile yorulma çevrim sayısının arttırılabileceği düşünülebilir.



Şekil 34 Yorulma testinden sonra mafsalsal mili boyun bölgesinden kırılan 2. Numune Termal koşullandırma uygulanan parçalardan 3. Numune ± 5 kN'luk kuvvet ve 10Hz'lik bir frekans altında 150.270 çevrim sayısı kadar dayanmıştır. Şekil 35'de yorulma neticesinde Z rot, polimer kafa kısmıyla metal rod'un birleşim bölgesinden kırılmıştır.



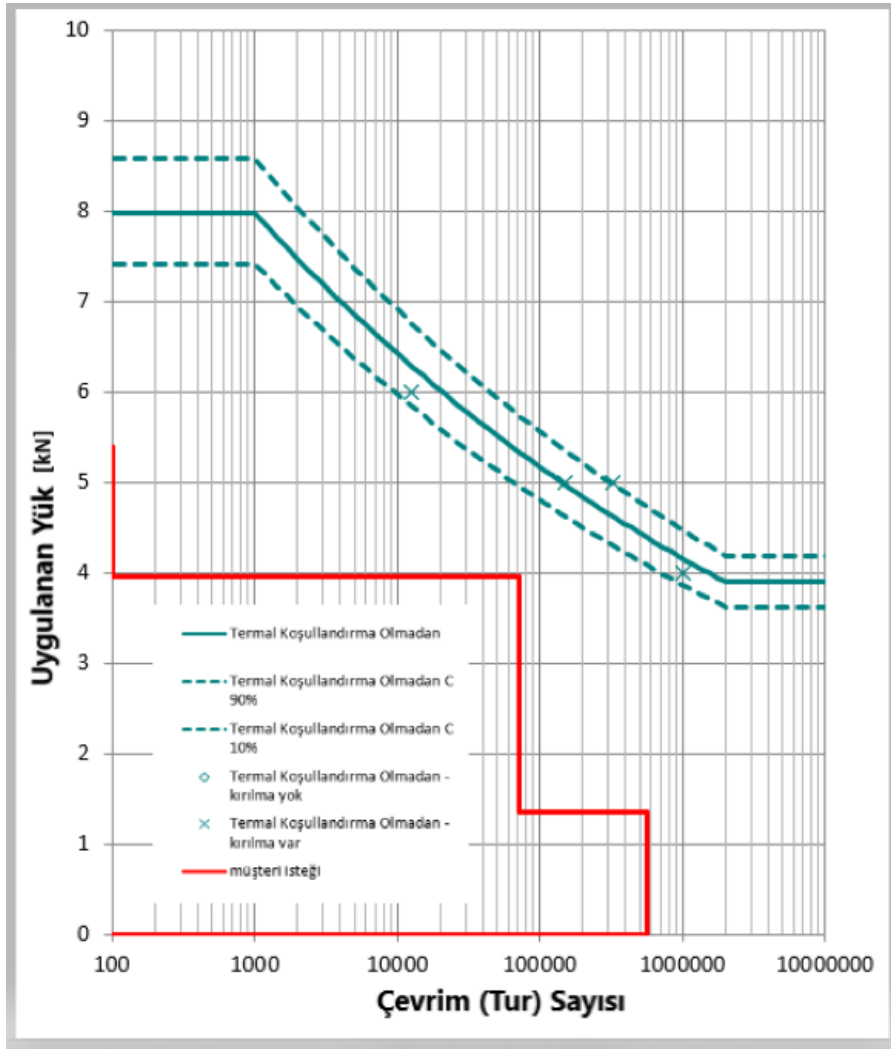
Şekil 35 Yorulma testinden sonra polimer kafa kısmıyla metal rod'un birleşim bölgesinden kırılan 3.Numune'nin detaylı görünüşü.

Termal koşullandırma uygulanan parçalardan 4. Numune ± 6 kN'luk kuvvet ve 7Hz'lik bir frekans altında 12.600 çevrim sayısı kadar dayanmıştır. Şekil 36'de ise yorulma neticesinde Z rot, polimer kafa kısmıyla metal rod'un birleşim bölgesinden kırılmıştır.



Şekil 36 Yorulma testinden sonra polimer kafa kısmıyla metal rod'un birleşim bölgesinden kırılan 4.Numune'nin görüntüsü

Yorulma testi, malzemenin değişken yük altındaki davranışlarının tespitinde uygulanmaktadır. Bilindiği gibi değişken yük altındaki malzeme mukavemeti zamanla azalır. Malzemenin yorulma özelliği S-N eğrisi ile ifade edilmektedir. S-N eğrisinde S, en yüksek gerilimi veya gerilim ranjını, N ise malzemenin kırılmasına kadar olan değişken yükleme çevrimini göstermektedir. Tablo 3’deki sonuçlara göre Şekil 37’deki S-N (Wöhler) eğrisi oluşturulmuştur. Bu grafikte, 5,399 kN’a karşılık 100 çevrim sayısı, 3,958 kN’a karşılık 71.000 çevrim sayısı, 1,350 kN’a karşılık 500.000 çevrim sayısı (kırmızı çizgi) görülmektedir. Ayrıca, Tablo 3’de numunelere uygulanmış olan kuvvet ve frekanslara göre numunelerin hangi çevrim sayılarında kırıldığını da grafikteki yeşil çizgi üzerinde görülmektedir.



Şekil 37 Termal Koşullandırma Şartlarından sonra oluşturulan Wöhler Eğrisi

Bu tezdeki amacımız 3. ve 4. numunelerde polimer kısmından kırılan bölgenin mukavemetini arttırarak Z rot numunelerinin yorulma testi sonucunda daha yüksek

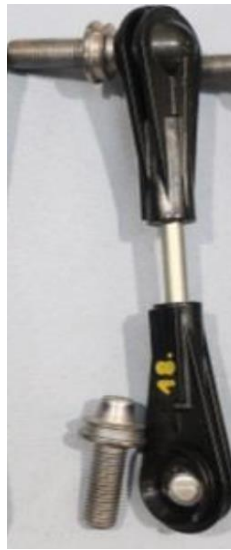
çevrim sayılarına dayanmasını sağlamaktır. Bunun için bu yorulma testi sonuçları dikkate alınarak tasarımsal değişiklikler ile polimer kısmın yorulma dayanımının artırılması hedeflenmiştir. Tasarımsal değişiklikler ile araca takılan polimer matrisli kompozit Z rotların daha uzun süre kullanılabilmesi sağlanabilir.

5.2 Termal Koşullandırma Şartları uygulanmayan numunelerin Wöhler Eğrisi

Tablo 4 Termal koşullanma yapılmadan, Yorulma testinde numunelere uygulanan kuvvet, frekans ve yorulma testi sonucundaki çevrim sayıları.

Numune no	Kuvvet(kN)	Frekans(Hz)	Çevrim sayısı (cycles)
1	±4	7	1.553.500
2	±5	7	442.370
3	±5	10	236.740
4	±6	7	20.450

Termal koşullandırma yapılmadan yorulma testi uygulanan 1. numune ±4 kN'luk kuvvet ve 7Hz'lik bir frekans altında 1.553.500 çevrim sayısı kadar dayanmıştır ve bu numune bu yorulma çevrimi sonucunda mafsal mili boyun bölgesinden kırılmıştır (Şekil 38). Mafsal mili boyun çapının arttırılması ile yorulma çevrim sayısının arttırılabileceği düşünülebilir.



Şekil 38 Yorulma testinden sonra mafsal mili boyun bölgesinden kırılan 1.Numune

Termal koşullandırma yapılmadan yorulma testi uygulanan 2. numune ± 5 kN'luk kuvvet ve 7Hz'lik bir frekans altında 442.370 çevrim sayısı kadar dayanarak, bu çevrim sonucunda mafsal mili boyun bölgesinden kırılmıştır (Şekil 39).

Burada çelik mafsal milinin en zayıf yeri boyun bölgesi olduğu için, boyun çapının arttırılması ile yorulma çevrim sayısının arttırabileceği düşünülebilir.



Şekil 39 Yorulma testinden sonra mafsal mili boyun bölgesinden kırılan 2.Numune

Termal koşullandırma yapılmadan yorulma testi uygulanan 3. numune ± 5 kN'luk kuvvet ve 10Hz'lik bir frekans altında 236.740 çevrim sayısı kadar dayanmıştır. Şekil 40'da yorulma neticesinde Z rot, polimer kafa kısmıyla metal rod'un birleşim bölgesinden kırılmıştır.



Şekil 40 Yorulma testinden sonra polimer kafa kısmıyla metal rod'un birleşim bölgesinden kırılan 3.Numune'nin görüntüsü

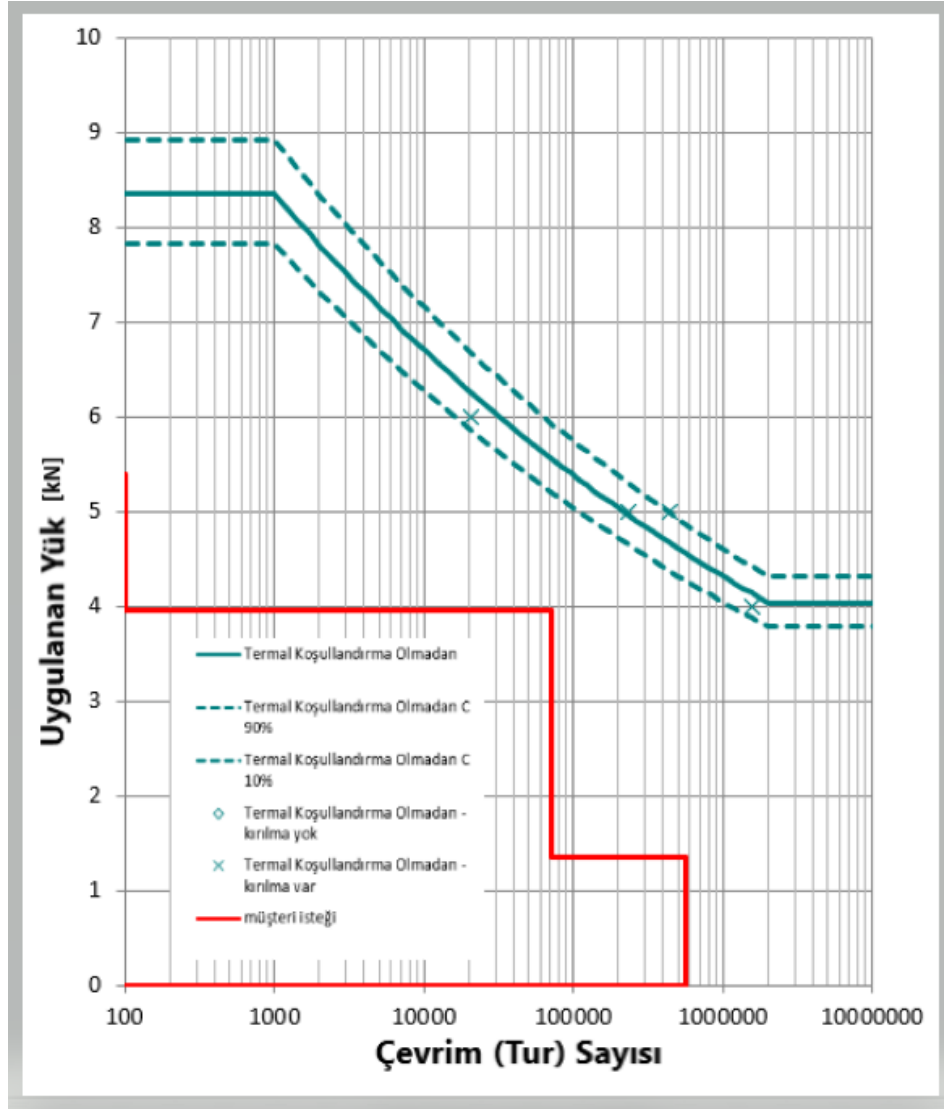
Termal koşullandırma yapılmadan yorulma testi uygulanan 4. Numune ± 6 kN'luk kuvvet ve 7Hz'lik bir frekans altında 20.450 çevrim sayısı kadar dayanmıştır. Şekil 41'de de yorulma testi neticesinde Z rot, polimer kafa kısmıyla metal rod'un birleşim bölgesinden kırılmıştır.



Şekil 41 Yorulma testinden sonra polimer kafa kısmıyla metal rod'un birleşim bölgesinden kırılan 4.Numune'nin görüntüsü.

Tablo 4'deki sonuçlara göre aşağıdaki Wöhler eğrisi oluşturulmuştur (Şekil 42). Bu grafikte, 5.399 kN'a karşılık 100 çevrim sayısı, 3.958 kN'a karşılık 71.000 çevrim sayısı, 1.350 kN'a karşılık 500.000 çevrim sayısı otomotiv firmalarının isteği olarak (kırmızı çizgi) talep edilebilmektedir.

Ayrıca Tablo 4'de yeşil çizgi üzerinde numunelere uygulanmış olan kuvvetler ve numunelerin hangi çevrim sayılarında kırıldığı görülmektedir.



Şekil 42 Termal Koşullandırma Şartları uygulanmayan numunelerin Wöhler Eğrisi

Bu tezdeki amacımız 3. ve 4. numunelerde polimer kısmından kırılan bölgenin mukavemetinin artırılarak Z rot numunelerinin yorulma testi sonucunda daha yüksek çevrim sayılarına dayanmasını sağlamaktır. Bunun için bu yorulma testi sonuçları dikkate alınarak tasarımsal değişiklikler ile polimer kısmın yorulma dayanımının artırılması hedeflenmiştir.

Sigmasoft programı ile plastik enjeksiyon simülasyonu yapılarak parça geometrisi içindeki fiber oryantasyonları elde edilmektedir. Kompozit malzemeler izotropik malzeme olmadığı için fiber dağılımları parçanın dayanımına önemli derecede etki etmektedir ve bu nedenle plastik enjeksiyon analizi yapılması gereklidir. Sigmasoft programı ile elde edilen fiber dağılımları bir veri olarak Digimat Map programı ile sonlu elemanlar modeline girdi olarak aktarılmaktadır. Sonlu elemanlar analizi Abaqus çözücüsü kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Simülasyondaki malzeme özellikleri 23 derece (RT) ve %50 bağıl nem olarak koşullandırılarak 3 mm test numuneleri ile elde edilmiştir. Test edilen parçaların FEA ile karşılaştırılabilmesi için bu şekilde koşullandırılması gereklidir. Plastik malzeme özellikleri üzerinde sıcaklık ve nemin önemli derecede etkisi vardır, bu nedenle farklı koşullandırmalar çok farklı sonuçlar verecektir.

Yukarıda açıklandığı üzere ve test sonuçlarından görüldüğü gibi 1. ve 2. Numunelerdeki hasarlar mafsallı milin boyun bölgesinden gerçekleşmiştir. Mafsallı miline uygulanan yük miktarının büyüklüğü arttıkça, numunelerin yorulma çevrim sayıları düşmüştür. Uygulanan yük büyüklüğüyle, çevrim sayısı arasında ters orantı vardır. Buradan da değişken yük altındaki malzeme mukavemeti zamanla azalmaktadır [45].

3 ve 4. Numunelerdeki hasarın genellikle polimerin kalıba giriş noktasından en uzak olduğu ve metal rod ile kafa kısmının birleştiği bölgeden olduğu görülmüştür. Bu durum üretim sürecinin ve malzeme akışının numunenin dayanıklılığı üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir. Gelecekteki çalışmalarda polimer akış noktası kafa parçasının orta noktasına yakın bir bölgeden seçilebilir.

Tüm numunelerin sonuçlarından anlaşılacağı üzere termal koşullandırmaya tabi tutulmayan numunelerin yorulma dayanımları daha iyidir. Sonuç olarak uygulanan sıcaklık değişimleriyle birlikte fiber, matris ve arayüz bağlanmalarının daha kötü yönde etkilendiği söylenebilir. Bu da mukavemeti düşürücü etki yapmaktadır [45].

Hasarın ana nedeni, özellikle zayıf fiber-matris arayüzden olduğu düşünülebilir [45]. Bunun için daha detaylı olarak hasar analizi yapılabilir ve detaylı şekilde mikroskop görüntülerine bakılabilir.

Şekil 27’de gösterilen metal rodun dışında kalan polimer malzemenin et kalınlığının yorulma dayanımını etkisi endüstriyel olarakta araştırılmıştır. Bu yüzden bu

mesafenin en az 4 mm olması gereklidir. Genellikle malzemeye özgü özellikler belirleyici değildir, ancak başarılı bir ürün araştırma geliştirme süreci için uygun bir tasarım veya boyutlandırma çok önemli faktördür. Keskin yüzeyler genellikle çentik etkisi yaratarak yorulma dayanımını düşürür [44]. Z rot numunelerin iç yüzeylerini daha yuvarlatılmış olarak tasarlamak önemlidir. Yumuşak geçişler özellikle yorulma dayanımını arttırıcı yönde etki yapacaktır ve aynı zamanda plastik enjeksiyon sürecinde polimer akışını da kolaylaştıracaktır.

IPA (Plastik enjeksiyonlu Z rot) montajının yapısına bağlı olarak, rodun ucu etrafındaki enine kesit değişikliğinin azaltılması gereklidir. Polimer malzeme et kalınlığı ile rod çapı arasında optimal oranın geliştirmesi gereklidir. Metal rot bitimi ile mafsal milinin merkezi arasındaki polimer alanı çok büyük olmamalıdır, aksi takdirde enjeksiyon kalıplama işlemi sırasında üretimsel hatalar oluşabilir. (Şekil 26) Plastik enjeksiyon prosesi esnasında bu alanın doğru şekilde doldurulamaması sorunu gerçekleşebilir. Bu durum Z rot mukavemetini düşürebilir. (Şekil 51). Oysa rotun tasarımındaki bir değişiklik, bu sorunu ortadan kaldıracaktır.

Genel olarak yorulma dayanımı hakkında doğru ifadeler verebilmek için, moleküler düzeyde daha fazla araştırmanın yapılması gereklidir. Çünkü makromoleküllerin ve polimer zincirlerinin yapısı ve çapraz bağlanması dinamik davranışı önemli ölçüde etkiler [45]. Polimer üreticileri hammadde yapı veya kimyasal bileşenleri hakkında sınırlı bilgi vermektedir. Bu gerçek, polimerlerin yorulma dayanımlarının güvenilir bir şekilde tahmin edilmesini imkansız kılmaktadır.

Polimerlerin yorulması kısmında da belirtildiği üzere, polimer malzemelerin yorulması esnasında iki farklı hasar oluşumu söz konusudur. Bunlar mekanik yorulma hasarı ve ısı yorulma hasarıdır. Özellikle parçalara uygulanan yüksek yüklerde ve frekanslarda daha çok ısı yorulma hasarı görülmektedir. Polimer malzemelerin ısı iletkenliklerinin düşük olmasından dolayı yorulma esnasında oluşan yüksek sıcaklık malzemenin uzaklaştırılmamaktadır, dolayısıyla malzemenin sıcaklığı hızla artarak, malzemenin yumuşamasına neden olmaktadır [41]. Bunun sebebinin polimer malzemelerin sıcaklık etkisiyle elastisite modüllerinde meydana gelen düşüş sonucu olduğu düşünülmektedir. Bir polimer kompozit malzemenin ısı iletim katsayısı düşük ise bu olay “ısı yorulmaya” neden olur. Polimer kompozit malzemelerdeki bu olumsuz durumu engellemek için, kompozitin yapısına bakır, metal tozları ve alüminyum gibi bazı katkı maddeleri eklenebilir [42].

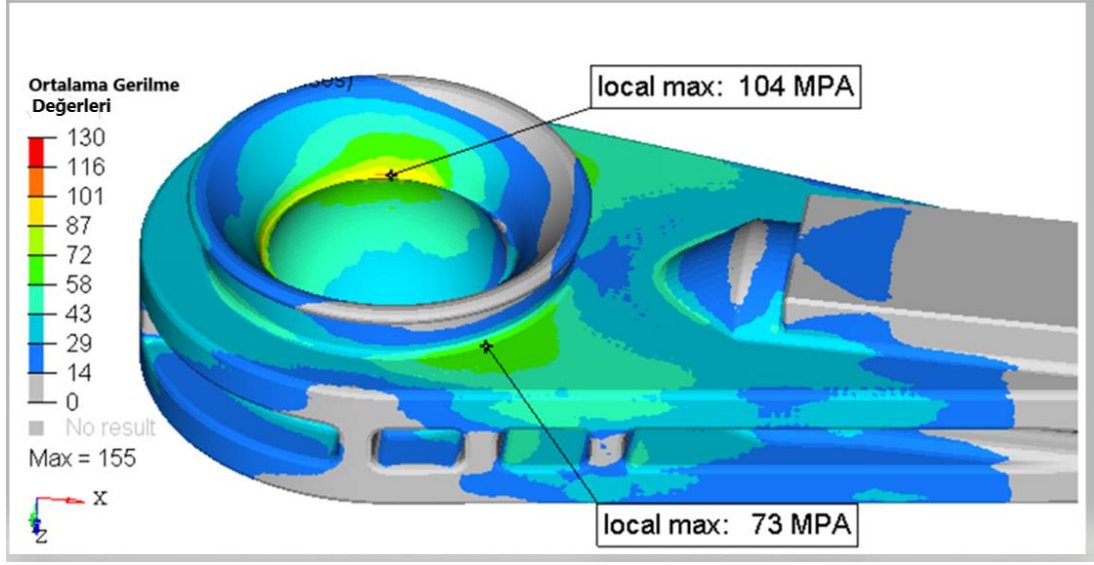
Frekans değişikliğinin etkisini göstermek için yorulma testleri yapılmıştır. Bu testlerde frekans artışının sıcaklık artışına neden olduğunu grlmştr. Bu sıcaklık artışı, matris içindeki sürünme özelliğini etkiler ve bu da Z rotların yorulma dayanımında bir azalmaya yol açar. Frekans miktarındaki artış, hasarı daha kısa sürede ortaya çıkarmaktadır [45]. Tablo 3 ve Tablo 4'den anlaşılacağı üzere frekans miktarının artışı malzemenin çevrim sayısını düşürmektedir.

Yorulma testi sonucunda kırılan Z rot parçaları incelendiğinde, burada daha çok mekanik yorulma hasarı meydana geldiği düşünülmektedir [43]. Kırılan Z rotlarda hasar genellikle polimer kısımdan kırılarak Z rotlar en az iki parçaya ayrılmıştır. Bu kırılma hasarlarının sıcaklıktan bağımsız olduğu düşünülmektedir. Bu sonuç yorulma testi sonuçlarından da görülmektedir. Mekanik yorulma hasarının oluşmasında polimer yapı içerisinde bulunan çatlaklar ve plastik enjeksiyon işlemi sırasında oluşan mikro düzeydeki boşluklar etkili olmaktadır [45]. Polimer malzeme içerisindeki boşluk ve çatlaklar devam eden yük etkisi ile büyümekte ve sonuçta malzemenin kırılmasına neden olmaktadır.

Polimer kompozitlerde hasar gevrek kırılma veya sünek kırılma şeklinde gerçekleşir. Enerji depolama özelliği düşük olan polimer malzemelerde gevrek kırılma görülür ve bu tip polimerlerde hasar almış yüzeyler bıçak kesiği gibi çok düzgün grnrlr [43]. Yorulma testinin sonucun da Z rot numuneleri incelendiğinde gevrek kırılma sonucu hasar aldıkları görülmektedir.

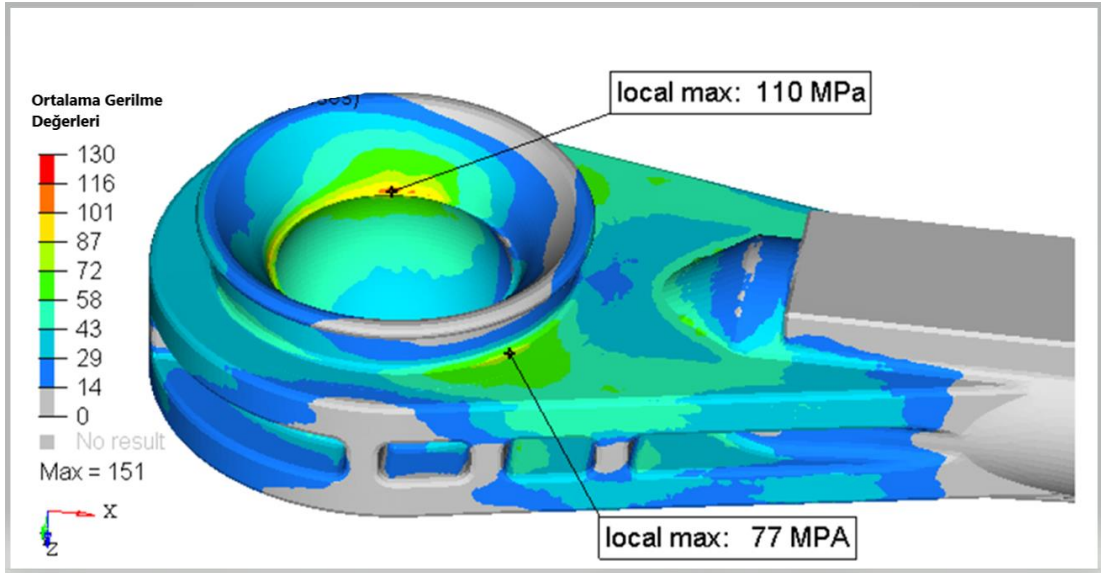
CAD programının üç boyutlu tasarım kısmında yapılan modellerin sonlu elemanlar analizleri şekil 43-50'de görülmektedir. Öncelikle tasarlanan parçaların Von Mises gerilmeleri karşılaştırılmıştır.

şekil 43'de 1. numunenin mafsal milinin polimer kafa kısmına değdiği alanda en yüksek gerilmenin 104 MPa olduğu görülmektedir. Burada oluşan yüksek gerilim değerini düşürmek için bu bölgedeki yuvarlatılmış kesitleri (yada keskin köşeleri) daha da yuvarlak hale getirmek ilk seçenek olarak düşünülebilir.



Şekil 43 1.numunedeki gerilme dağılımı

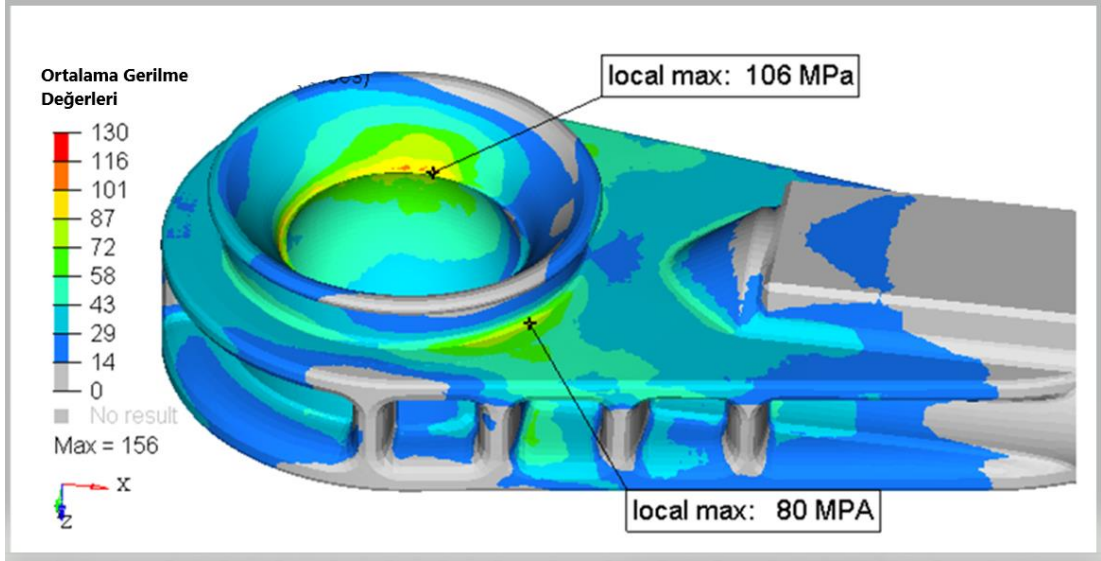
Şekil 44’de 2. numunenin en yüksek gerilme değeri de yine 1. numunedeki gibi aynı bölgede olduğu görülmektedir. Fakat bu numunedeki gerilme değeri 1. numunedeki gerilme değerinden daha yüksektir. Rodun mafsal mili merkezine doğru kaydırılması nedeni ile rot bitişi ile mafsal mili merkezi arasındaki polimer alanın azalmasından kaynaklanmaktadır [45]. Ayrıca malzemenin daha dar alana sıkışması malzemenin iç gerilmesinin artmasına da neden olabilir.



Şekil 44 2.numunedeki gerilme dağılımı

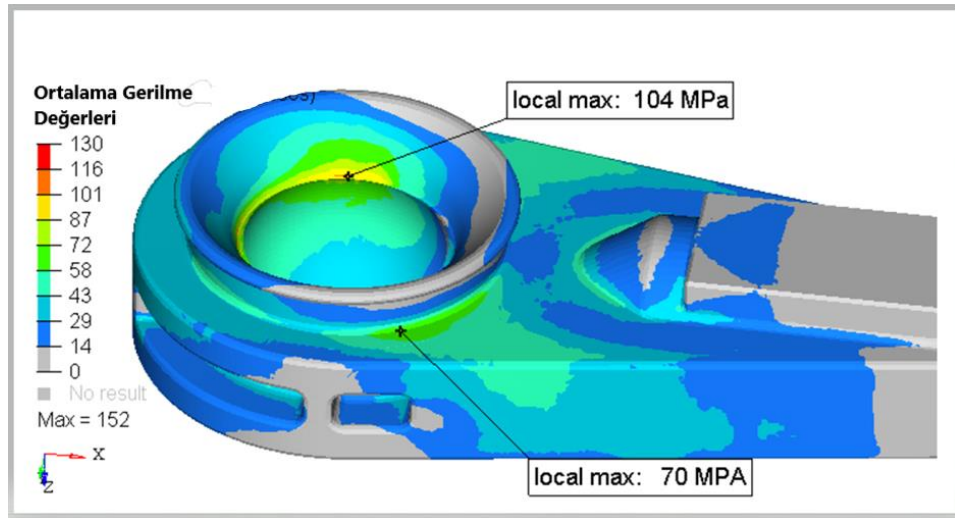
Şekil 45’de, 3. numunenin en yüksek gerilmesinin mafsal milinin polimer kafa kısmına değdiği alanda olduğu görülmektedir. Bu alanda oluşan gerilme 106 MPa’dır. Bu alandaki yüksek gerilme değerini düşürmek için de o bölgedeki

yuvarlatılmış kesitleri daha da yuvarlak hale getirmek ilk seçenek olarak düşünülebilir.



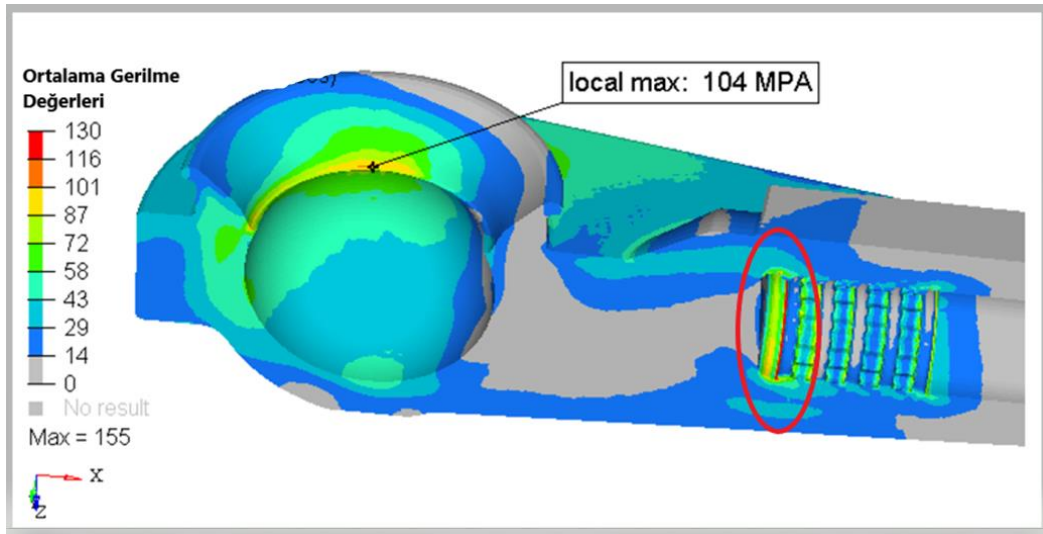
Şekil 45 3.numunedeki gerilme dağılımı

Şekil 46’da, 4. numunenin en yüksek gerlimesinin 104 MPa olduğu, mafsal milinin polimer kafa kısmına değdiği alanda olduğu açıkça görülmektedir. Buradaki bu yüksek gerilme değerini düşürmek için o bölgedeki yuvarlatılmış kesitleri daha da yuvarlak hale getirmek ilk seçenek olarak düşünülebilir. 70 MPa’ın olduğu alandaki bu gerilme değeri bu dört farklı varyanttaki parçalar arasındaki en düşük değer olarak görülmektedir. Bunun nedeni 4. numunenin yan alanlardaki boşlukların kapatılmış olması ve bu sayede akışkan malzemenin akışının daha rahat olarak gerçekleşmesi şeklinde düşünülmektedir.



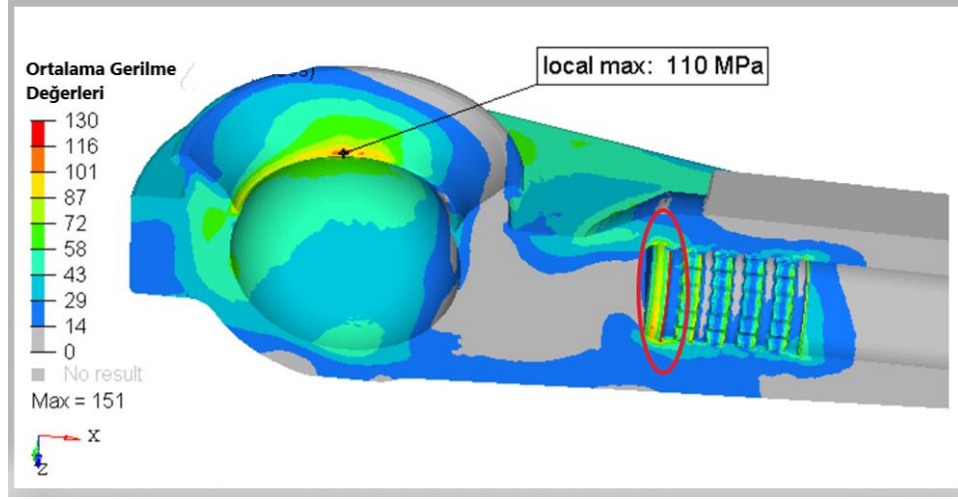
Şekil 46 4.numunedeki gerilme dağılımı

Şekil 47’de, 1. numunenin tam ortadan kesilerek oluşturulmuş iç yapısı görülmektedir. Bu parçada rod ile mafsal mili arasında kalan alanda oluşturduğumuz yuvarlatılmış kesitlerle akışkan malzeme akışının daha rahat bir şekilde ilerlediğini görmekteyiz. Mavi kısımlarda fazla bir gerilmenin oluşmadığı açıkça görülmektedir. Fakat rodun ucunda çok küçük bir kısımda (kırmızı ile işaretlenmiş alan) gerilme değerinin en yüksek olduğu görülmektedir. Bunun en önemli nedeni metal rodun bu kısmının çok keskin bir yüzeyden oluşmasıdır. Bu alanın yuvarlak (radyus) kesitinin daha da büyütülmesi gerekmektedir. Aksi takdirde numune yükleme esnasında ilk olarak bu bölgeden hasar alacaktır.



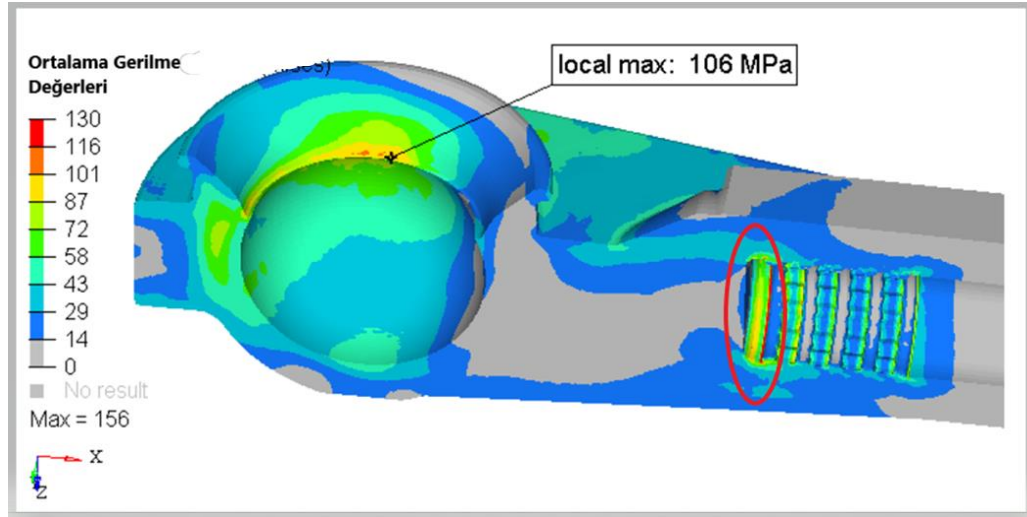
Şekil 47 1.numunenin iç yapısındaki gerilme dağılımı

Şekil 48’de, 2. numunenin tam ortadan kesilerek oluşturulmuş iç yapısı görülmektedir. Fakat rodun ucundaki kısımda (kırmızı ile işaretlenmiş alan) gerilme değerinin en yüksek olduğu görülmektedir. Bunun en önemli nedeni metal rodun bu kısmının çok keskin bir yüzeye sahip olmasıdır. Bu alanın yuvarlak (radyus) kesitinin daha da büyütülmesi gerekmektedir. Aksi takdirde numune yükleme esnasında, ilk olarak bu bölgeden hasar alacaktır.



Şekil 48 2.numunenin iç yapısındaki gerilme dağılımı

Şekil 49’da, 3. numunenin tam ortadan kesilerek oluşturulmuş iç yapısı görülmektedir. Fakat rodun ucunda çok küçük bir kısımda (kırmızı ile işaretlenmiş alan) gerilme değerinin en yüksek olduğu görülmektedir. Bunun en önemli nedeni metal rodun bu kısmının çok keskin bir yüzeyden oluşmasıdır. Bu alanın yuvarlak (radyus) kesitinin daha da büyütülmesi gerekmektedir. Aksi taktirde numune yükleme esnasında ilk olarak bu bölgeden hasar alacaktır.

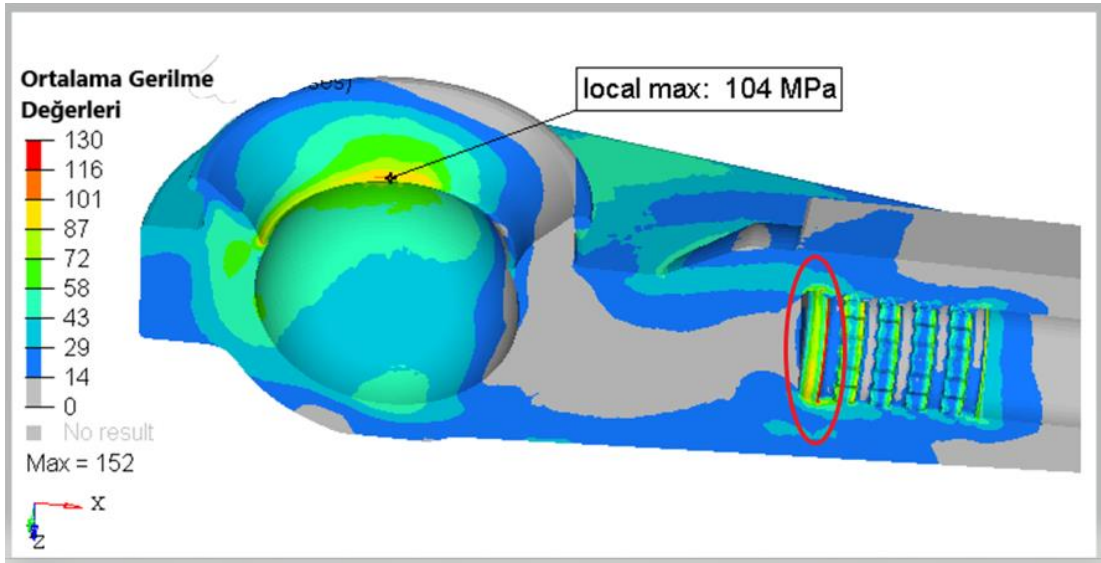


Şekil 49 3.numunenin iç yapısındaki gerilme dağılımı

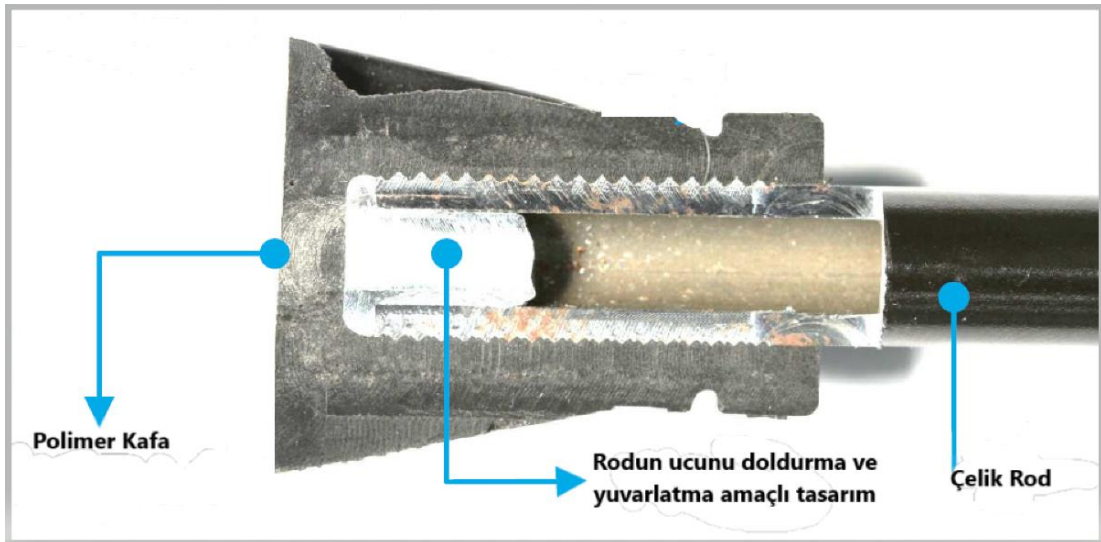
Şekil 50’de, 4. numunenin tam ortadan kesilerek oluşturulmuş iç yapısı görülmektedir. Fakat rodun ucunda çok küçük bir kısımda (kırmızı ile işaretlenmiş alan) gerilme değerinin en yüksek olduğu görülmektedir. Bunun en önemli nedeni bu metal rodun bu kısmının çok keskin bir yüzeyden oluşmasıdır. Bu alanın yuvarlak (radyus) kesitinin daha da büyütülmesi gerekmektedir. Aksi taktirde parça yükleme

esnasında ilk olarak bu bölgeden hasar alacaktır. Bu parçada ayrıca akışkan polimerin rod ucuna doğru rahatça aktığı söylenebilir. Mavi akış çizgilerinden gerilme değerinin gayet düşük olduğu anlaşılmaktadır. Bunun nedeni de, bu parçaya üstten açılan boşluklar akışkan malzemenin akışını kolaylaştırmaktadır.

Bu numunelerdeki keskin köşeleri engellemek ve rodun ucunda oluşabilecek gerilimi azaltabilmek için Şekil 51'deki gibi bir rod tasarımı yapabiliriz. Bu sayede rodun ucunda daha yuvarlatılmış kısımlar elde edilebilir ve daha mukavemetli bir yapı sağlayabiliriz. Numunelerin yorulma çevrim sayılarını da bu şekilde arttırabiliriz.



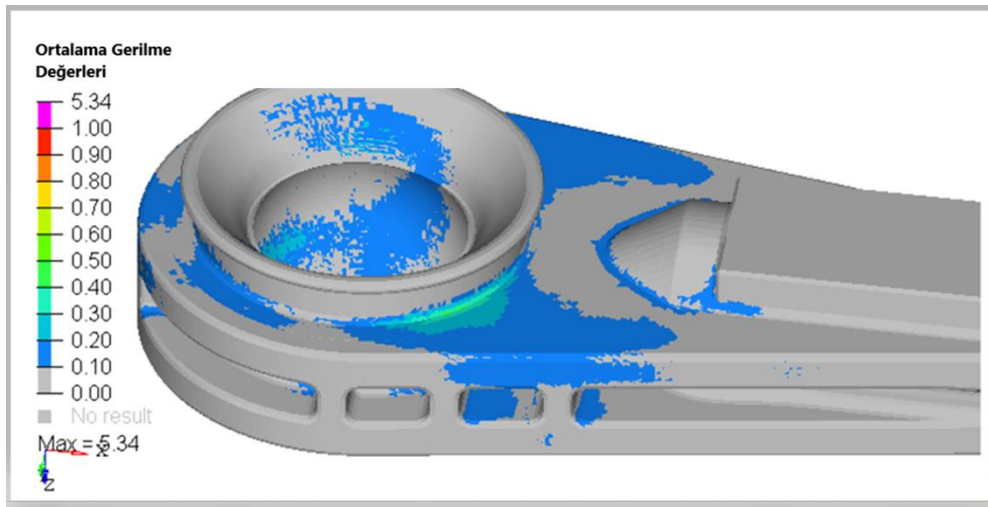
Şekil 50 4.numunenin iç yapısındaki gerilme dağılımı



Şekil 51 Düşünülen alternatif rod tasarımı

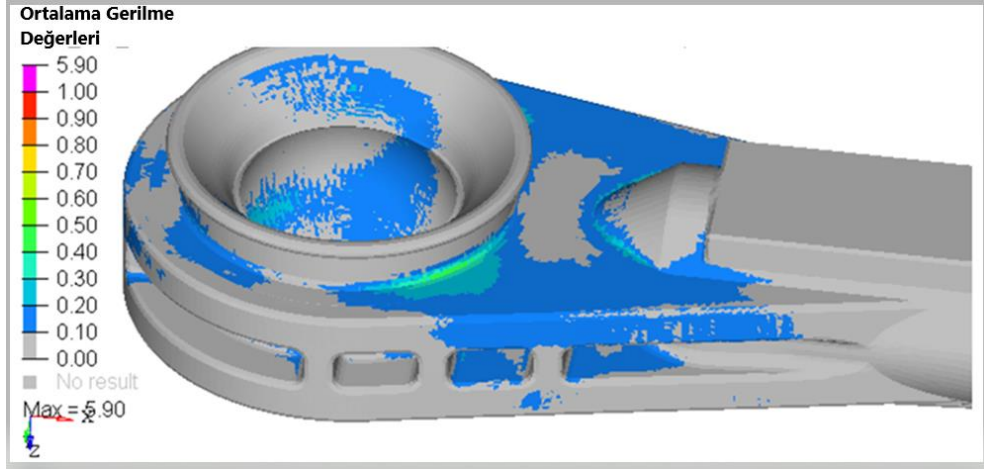
5.3 Tsai – Hill hasar kriterine göre yorumlama

Şekil 52’de ortalama gerilme cetvelindeki değer (failure indicator) 1 olduğunda parçayı kırılmış kabul ediyoruz. Plastik malzemelerde doğruca gerilim üzerinden yorum yapmaktansa “failure indicator” değeri üzerinden yorum yapmak daha doğru bir seçim olacaktır. Çünkü farklı fiber yönlerinde malzeme davranışı farklı olacağından tüm parçayı tek bir gerilim değeri üzerinden değerlendirmek yanlış olacaktır. Bu gibi analiz yorumlamalarında Tsai-Hill yönteminden yararlanabiliriz ama bunun yanında farklı failure indicator formülasyonları da mevcuttur. (Tsai-Wu vs.)

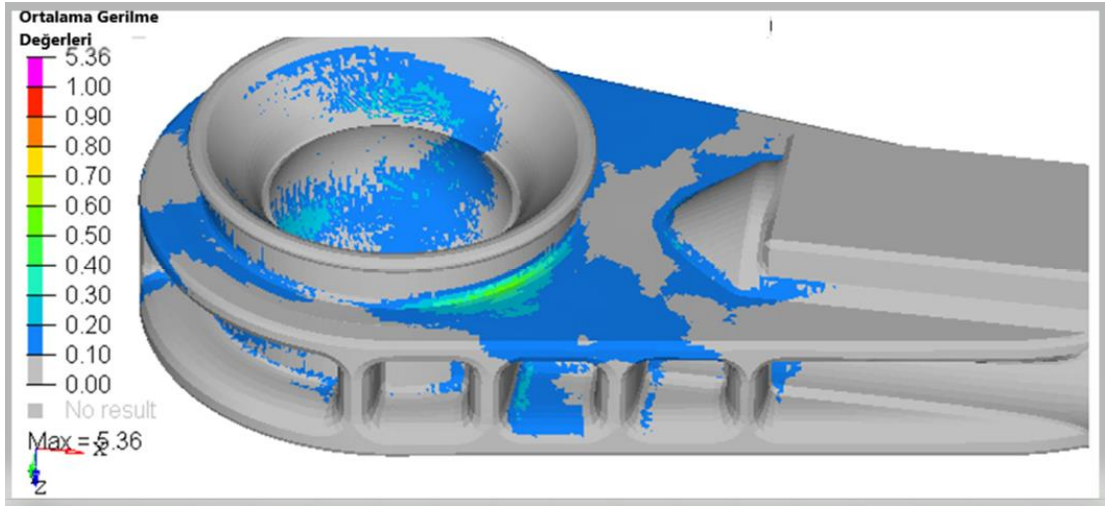


Şekil 52 1.numunenin Tsai-Hill kriterine göre analiz görüntüsü

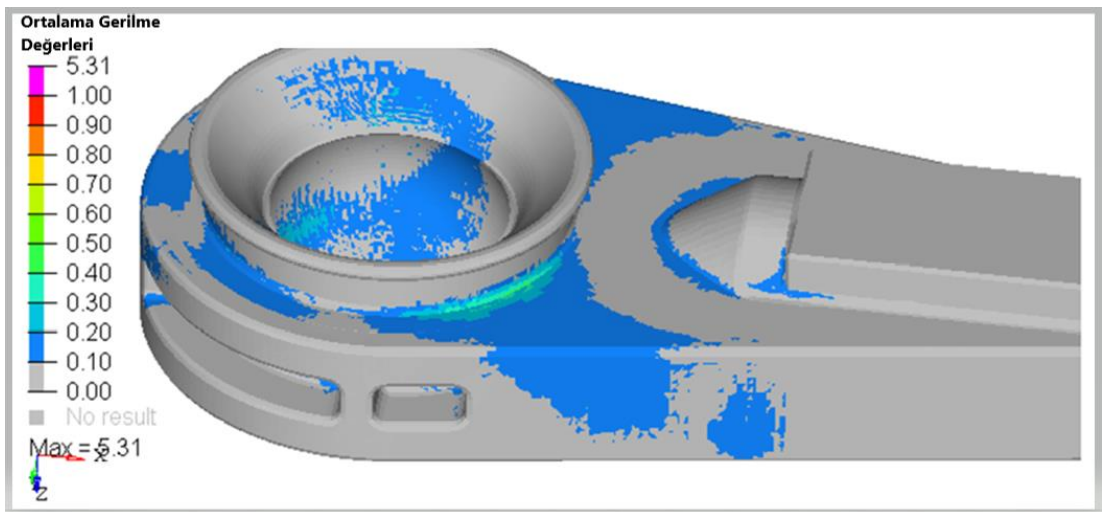
Şekil 52-55’de gösterilen dört farklı iç yapıya sahip numunelere (1, 2, 3 ve 4 nolu numuneler) 8 kN’luk bir çekme kuvveti uygulandığında dayanım açısından en zayıf olanının 2 nolu numune olduğunu söyleyebiliriz. Şekil 53’de 2 nolu numune 5.90 ortalama gerilme değerine sahiptir ve bu diğer numunelerden fazla bir değer olarak açıkça görülmektedir.



Şekil 53 2.numunenin Tsai-Hill kriterine göre analiz görüntüsü

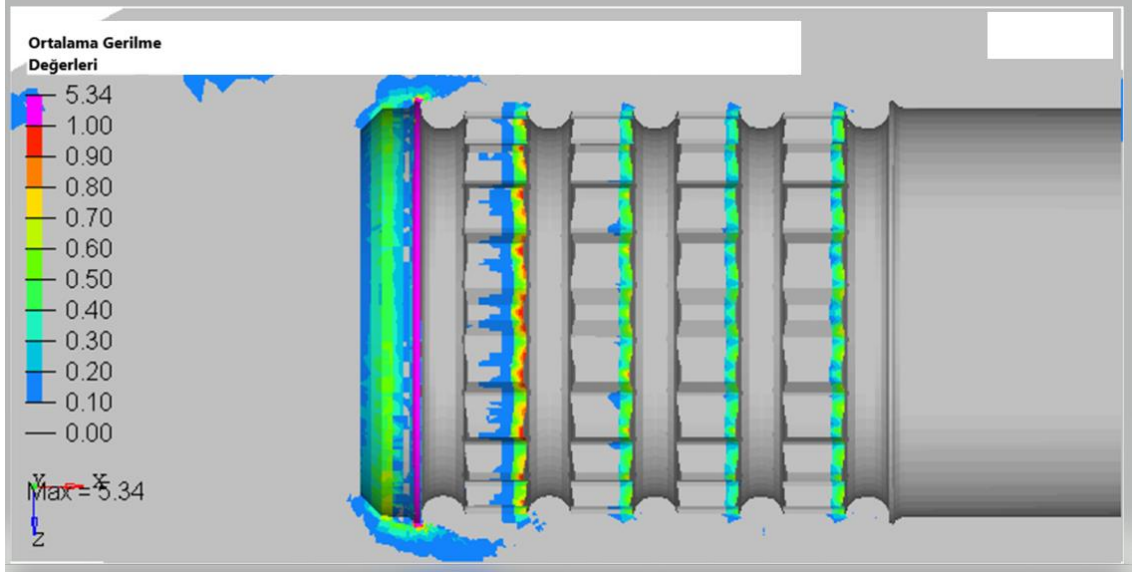


Şekil 54 3.numunenin Tsai-Hill kriterine göre analiz görüntüsü

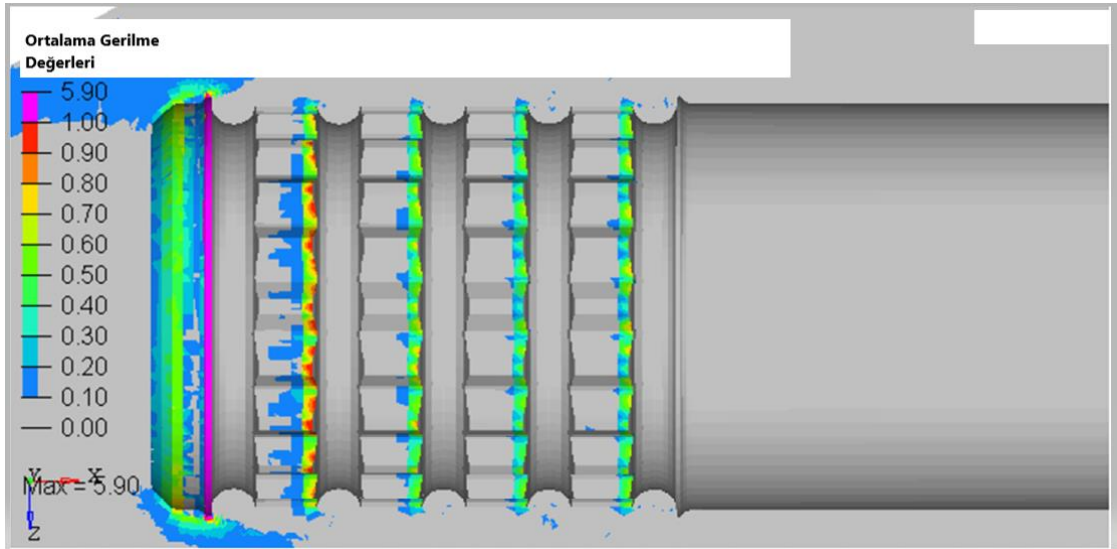


Şekil 55 4.numunenin Tsai-Hill kriterine göre analiz görüntüsü

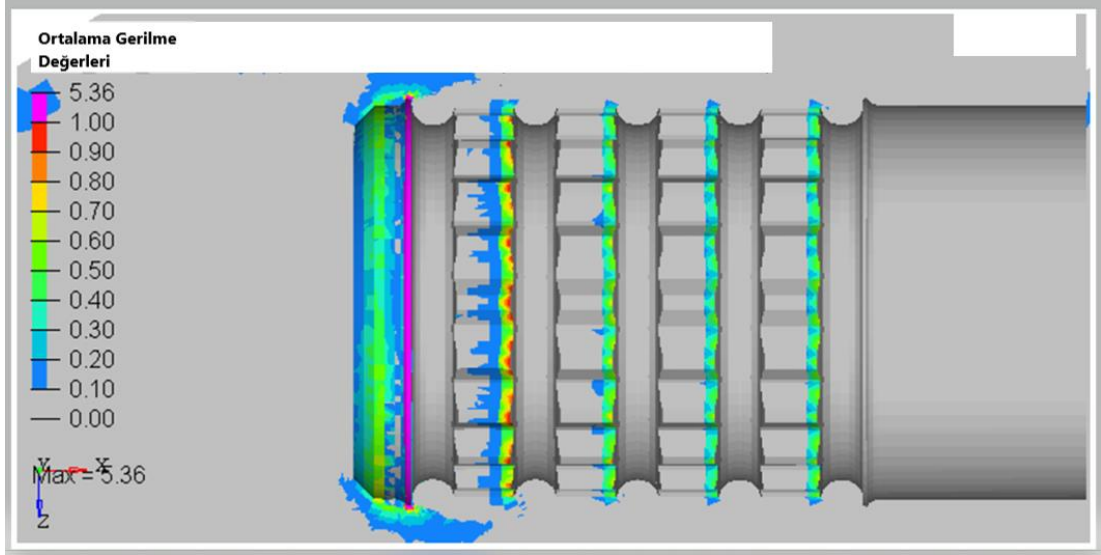
Şekil 56-59’da rodun ucunda oluşan gerilme değerleri gösterilmiştir. Şekil 56 ve 57’de fuşya renkli bölgede failure indicator 1 değerini geçmektedir ve yorulma testi sonucunda da 3.ve 4. numunelerdeki hasarın ve kırılmaların bu bölgeden gerçekleştiğini görmekteyiz. Rodun ucundaki bu fuşya renkli bölgenin keskin yüzeyini yuvarlatmak (radyüs) bu alandaki ortalama gerilme değerini düşürerek bu alandaki kırılma durumu engellenebilir.



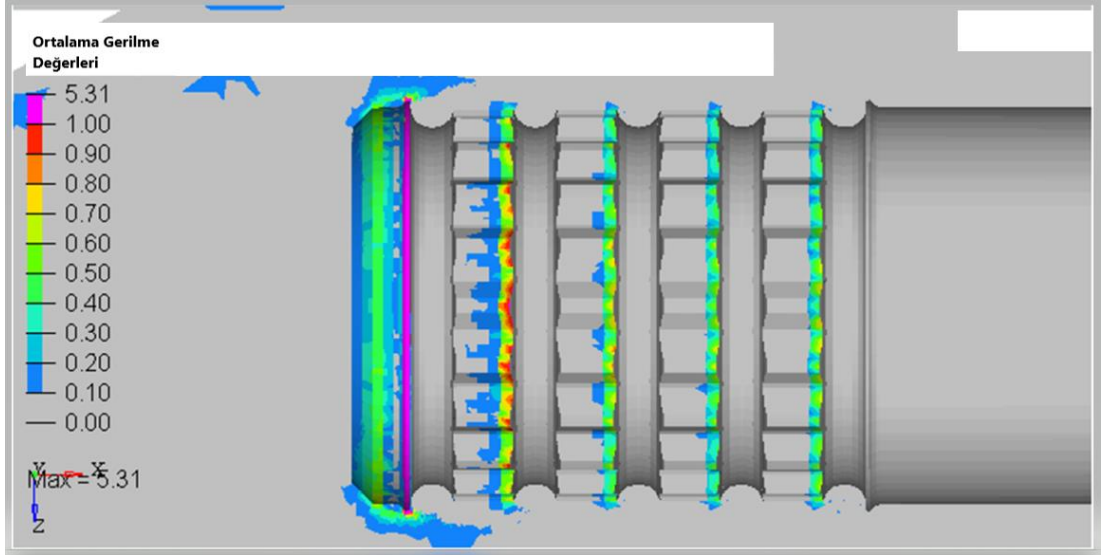
Şekil 56 1.numunede Rodun ucundaki gerilme değerleri



Şekil 57 2.numunede Rodun ucundaki gerilme değerleri



Şekil 58 3.numunede Rodun ucundaki gerilme değerleri



Şekil 59 4.numunede Rodun ucundaki gerilme değerleri

6. SONUÇLAR

Yorulma testi sonucunda mafsal mili boyun bölgesinden kırılan numuneler (1. ve 2. numune) için Z rot montajında mukavemetinin en düşük olduğu nokta mafsal mili boyun bölgesidir. Bu hasarın önlenmesi için mafsal mili boyun bölgesinin çapının artırılması gereklidir. Bu kısma malzeme eklemesi yapılarak buradaki hasar engellenebilir.

3. ve 4. numunelerin yorulma testi sonucunda Z rotların; metal rodun bitimi ve polimer kafa kısmının birleşim yerinden kırıldığı görülmüştür. Polimer malzemenin olduğu alanda malzeme birikmesi engellenerek, oluşabilecek hasar engellenebilir. Ayrıca, polimer kafa kısmının iç yapısındaki keskin köşelerin yuvarlatılması (radyüs) sonucu, çatlak oluşumu engellenerek Z rotların yorulma dayanımları artırılabilir. Bu keskin köşelerin yuvarlatılması polimerin Z rot kafa kısmındaki akışını kolaylaştırarak plastik enjeksiyon işleminde oluşabilecek istenmeyen boşluk ve çatlakların önüne geçilebilir.

Metal rodun dışında kalan polimer malzeme et kalınlığının 4 mm olması en uygun tasarım olarak görülmektedir. Bu mesafenin 4 mm den az oluşu yorulma dayanımını önemli ölçüde azaltmaktadır.

IPA (Plastik enjeksiyonlu Z rot) montajının yapısına bağlı olarak, rodun ucu etrafındaki enine kesit değişikliğinin azaltılması gereklidir. Bir yandan, polimer malzeme kalınlığı ile rod çapı arasında optimal oran geliştirilmelidir. Polimer alanı çok büyük olmamalıdır, aksi takdirde enjeksiyon kalıplama işlemi sırasında bir hata oluşabilir.

Frekans miktarındaki artış, hasarı daha kısa sürede ortaya çıkarmaktadır. Frekans miktarının artışı malzemenin çevrim sayısını düşürmektedir. Z rot numunelerine uygulanan yüksek yüklerde ve frekanslarda daha çok ısıl yorulma hasarı görülmektedir. Polimer malzemelerin ısıl iletkenliklerinin düşük olmasından dolayı yüksek sıcaklık malzemedan uzaklaştırılamamaktadır, dolayısıyla malzemenin

sıcaklığı hızlıca artarak, malzemenin yumuşamasına neden olmaktadır. Ancak, yorulma testi sonucunda kırılan Z rot parçalarında genellikle mekanik yorulma hasarı meydana gelmektedir.

Gelecek çalışmalarda, polimer kompozit Z rotlarda meydana gelen hasarlarda, daha detaylı mekanik kırılma hasarları araştırılabilir, detaylıca mikroskop görüntüleriyle desteklenerek hasarların nasıl ve neden gerçekleştiği sonucuna kolaylıkla ulaşılabilir. Bu şekilde hasarların neden kaynaklandığının yorumları yapılabilir.

KAYNAKLAR

1. Şahin, Y. (2006). Kompozit Malzemelere giriş. Ankara:Gazi Kitabevi.
2. Palabiyık, M.,Bahadur,2000,S.,Mechanical and Tribological Properties of Polyamide6 and High Density Polyethylene Polyblends with an without Compoatibilizer, Wear, 149-158.
3. İpek, H., Çuvalcı, H., Eryılmaz E. Şahin A. (2013). Poliamid Esaslı Kompozitlerde Karbon Fiber Oranının Mekanik Özelliklere Etkisi.
4. Türkmen, M., Kayahan, E., Candan, L.,Cansun, A., Serçin, B.(2017). Cam Elyaf Takviyeli Polimerik Kompozit Malzemelerde Lazerli Kesme ve Delme Parametrelerinin Belirlenmesi. 5. Uluslararası Polimerik Kompozitler Sempozyumu ve Çalıştayları, 2-4 Kasım.
5. Szeteiová, K. “Automotive materials plastics in automotive markets today”,Bratislava, Slovak University of Technology (2010).
6. Cheah, L., “Cars on a diet: The material and energy impacts of passenger vehicle weight reduction in the U.S.”, Ph.D. Thesis, Massachusetts Institute of Technology 2010.
7. A. Fatemi, and P. Kurath, Multiaxial Fatigue Life Predictions under the Influence of Mean Stresses.J.Eng.Mater.Techn.,Vol:110 (1988) 380-388.
8. B. H. M. Ersoy (Eds.), Chassis Handbook kitabı, Fundamentals, Driving Dynamics, Components, Mechatronics, Perspectives. 2011.
9. Mishra R., Naskar T.K., Acharya S., ,Synthesis of coupler curve of a four bar linkage with joint clearances’, International Journal of Engineering Research and Applications, 2013.
10. Gürel, E. G., Kalyoncu, M. Araçlarda Kullanılan Stabilizer Rodların Dayanımına Küresel Mafsallık Boşluğunun Etkisinin İncelenmesi S.Ü. Müh. Bilim ve Tekn. Derg., c.3, s.4, 2015.
11. Stockel MW, Stockel MT, Johanson C. Auto fundamentals. Illinois: Goodheart-Willcox pub. and 1999.
12. Yılmaz, İ.N., Taşdelen, M.A. Cam Elyaf Katkılı Poliamid 66/ Poliftalamid Karışımlarının Hazırlanması, Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, Cilt 23, Sayı 1, 2018.
13. S. Maksimov, J. Bashkova, A. Maksimova, Modernization of technology and equipment for glass fiber reinforced plastic rebar production, Proced. Eng. 206 (2017) 1337–1341.
14. Benjamin, P. Appletons' Cyclopædia of Applied Mechanics: Gov.-Z (Vol. 2). D.Appleton. (1895).
15. R. K. a. P. S. M. Scheibnitz, “Polyamid 6 und 66 (PA6 und PA66),” Kunststoffe 2016 (Plastics 2016), no. 10, pp. 60-70.
16. P. D. a. A. B. C. Armanni, “Fatigue strength of a clutch pedal made of reprocessed short glass fibre reinforced polyamide,” International Journal of Fatigue vol. 32, no. 1, pp. 100-110, 2010.
17. A. Bunsell, Handbook of Properties of Textile and Technical Fibres, Duxford (UK): Elsevier, 2018.
18. İpek, H. Çuvalcı, H. Poliamid Esaslı Kompozitlerde Karbon Fiber Oranının Mekanik Özelliklere Etkisi.
19. Kutlak H. Uygur İ. Ticari Araç Sac Salıncak Düzeninin Sonlu Elemanlar Metodu İle Yorulma Analizi Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi.
20. Mazumdar, S.K., 2002. Composites Manufacturing, Materials, Product, and Process.
21. Baydar, D.G., Bekem, A. Production and Characterization of Continuous E-Glass Fiber Reinforced Polypropylene Composites.

22. Kaw, A. K. Mechanics of composite materials. CRC pres (2005).
23. Anonim, 1984. A.S.M.International, Composite materials I the basics, Materials Engineering Institute. 10-15s Ohio.
24. Chawla, K.K., 1987. Composite Materials Science and Engineering. 140-283s Springer Verlag New York Inc.
25. J. Brydson, Plastics Materials, 6 ed., Oxford/London: Butterworth-Heinemann Ltd., 1995.
26. Prof.Dr. Ay, İ. Plastik Malzemeler.
27. William D. Callister, David G. Rethwisch Materials Science and Engineering Wiley, 07.01.2010 - 992 Seiten.
28. Yıldırım, V., 2009. Plastik Enjeksiyon Kalıplarında Soğuk Yolluk Parametrelerinin Ürün Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
29. <http://www.kompozit.org.tr/wp-content/uploads/2017/03/Composites-Turkey-08.pdf>.
30. Gay, D., Hoa, S.V., Tsai S.W., 2003. Composite Materials Design and Applications. 3-27, Paris.
31. Samancı, A., Tarakcıoğlu, N., Akdemir, A., 2011, Fatigue failure analysis of surface-cracked $\pm 45^\circ$ filament-wound GRP pipes under internal pressure, Journal of Composite Materials 46(9), 1041-1050.
32. Göktan A., Taşıt Tasarımı, İTÜ Matbaası, 1992.
33. D. Lamla, Center of Competence Ball Joints SLJ – Plastic and Hybrid Design, Dielingen: ZF Intranet, 2017.
34. M. Decker, G. Savaidis, Measurement and Analysis of Wheel Loads for Design and Fatigue Evaluation of Fatigue Evaluation of Vehicle Chassis Compenents, Fatigue & Fracture of Engineering Materials & Structures, Vol: 25 (2002) 1103-1119.
35. N. Kaya, M. İ. Karamangil, ve R. Bozkurt, Biyel Üzerine Açılan Yağlama Deliklerinin Yorulma Dayanımına Etkisinin İncelenmesi, Otekon'02, Otomotiv Teknolojileri Kongresi, Bursa, (2002) 14-19.
36. Lifetime assessment of engineering thermoplastics International Journal of Engineering Science Volume 59, October 2012, Pages 108-139.
37. Rao S.S., Engineering Optimization - Theory and Practice, John Wiley & Sons, New York, 903 pp, 1996.
38. Tomari, K., Harada, T., Maekawa, Z., Hamada, H., Iwamoto, M., Ukai, A., 1993, Fracture toughness of weld lines in thermoplastic injection molding, Polymer Engineering and Science, p 996-1001.
39. Schwartz, M.M., 1984. Composite Materials Handbook. 8-26s McGraw-Hill Inc.
40. Kıralp, S., Özkoç, G., Erdoğan, S., Çamurlu, P., Baydemir, T., Doğan, M., 2006. Plastikler. ODTÜ Yayıncılık, Ankara, 125 s.
41. Crawford, R.J., Benham, P.P., 1974. Cyclic stress fatigue and thermal softening failure of thermoplastic, Journal of Material Science, 9, 18-28.
42. Pişkin, Erhan, Polimerler 2 (Mühendislik polimerleri), Pagev Yayınları 6, İstanbul, 1999.
43. Toparlı, M. Burak, Soğuk Dövme Kalıplarında Ömür Artışı Elde Etmek İçin Baskın Hasar Mekanizmasının Belirlenmesi, Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, Cilt 24, Sayı 2, 2019
44. G. a. T.A.Oswald, Material Science of polymers for Engineers, München, Wien: Carl Hanser, 2003.
45. Böckmann, H. Monir, S. Lamla, D. Preparation of a test concept for fatigue strength evaluation on test specimen consisting of a polyamide material, to determine a correlation with real components of the stabilizer links, Glyndŵr University